



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sami Vapalahti  
Joonas Heino

# Varastorobotin digitaalisen kaksosen ja fyysisen mallin suunnittelu ja toteutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.3.2020

Tekijät Otsikko	Sami Vapalahti, Joonas Heino Varastorobotin digitaalisen kaksosen ja fyysisen mallin suunnittelu ja toteutus
Sivumäärä Aika	57 sivua + 2 liitettä 3.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Timo Tuominen projektivastaava Ville Torvinen
<p>Tässä opinnäytetyössä on tehty digitaalinen kaksonen ja pienoismalli korkeavarastorobotista. Tavoitteena oli kehittää oppilaitoksille opetusympäristö sisältäen uusimpia teknologioita ja sovelluksia.</p> <p>Projektin pohjana käytettiin Siemensin kahden nostimen järjestelmää. Laitteesta luotiin aluksi 3D-malli Siemens NX -sovelluksella, jonka jälkeen siihen lisättiin älyllisiä toimintoja kuten liikeratoja, nopeusohjaimia ja tunnistusantureita Mechatronics Concept Designer:in, TIA Portalin ja SIMIT:n avulla. Aluksi laite oli vain varastonostin, mutta lisähaasteena opeteltiin vielä kinematiikkaa, jonka jälkeen laitteesta tuli robotti.</p> <p>Prototyyppilaitteen hylly ja laatikot on suunniteltu ja valmistettu alusta asti itse. Kappaleet mallinnettiin Siemens NX ohjelmalla, jonka jälkeen niistä luotiin vektorigrafiikkaa. Vektorigrafiikka tuotiin Adobe Illustrator ohjelmaan, jossa luotiin laserille tieto leikattavasta polusta ja kaiverruksesta. Materiaalit hankittiin ETRA:lta ja laserleikkauksen ja kaiverruksen hoidimme Iso Omenan kirjaston pajalla.</p> <p>Lopputuloksena syntyi oppilaitoksille luotu pienoismalli varastorobotista, jonka tarkoituksena on tuoda uutta teknologiaa opetuksen tueksi. Varastorobotti on kolmiakselijärjestelmä, joka nostaa laatikoita hyllyyn. Projektin lopputulosta voidaan myös hyödyntää tulevaisuuden jatkokehityksessä täysimittaisissa korkeavarastoissa.</p>	
Avainsanat	digitaalinen kaksonen, virtuaalinen käyttöönotto, varastorobotti, logiikkaohjelmointi, kinematiikka, mekaniikka

Author Title Number of Pages Date	Sami Vapalahti, Joonas Heino Designing and implementing of a digital twin and a physical model of a storage robot 57 pages + 2 appendices 3.3.2020
Degree	bachelor of Engineering
Degree Programme	automation technology programme
Professional Major	automation technology
Instructors	principal lecturer Timo Tuominen, project manager Ville Torvinen
<p>This thesis was about creating of a digital twin and building a miniature storage robot. The goal was to develop a modern learning environment that includes the newest technologies and applications.</p> <p>As the base of our project we used a two-lifter system made by Siemens. First a 3D-model of the system was created with Siemens NX software. Intellectual functions, like motions, speed controls and sensors were added later with the use of Mechatronics Concept Designer, TIA Portal and SIMIT. At first the machine was just a normal storage system, but as an additional challenge we decided to learn kinematics, which turned the machine into a robot.</p> <p>The shelf and boxes used by the prototype were designed and manufactured by us. First, they were modeled in Siemens NX and after that they were turned into vector lines. These vector lines were used in Adobe Illustrator software to create a cutting path for the laser cutter. The materials were purchased from ETRA and the cutting was done at a free laser cutting service provided by Iso Omena Paja.</p> <p>The end result was a miniature storage robot for educational institutions with purpose of bringing new technology to support teaching. The storage robot is a three axis system that lifts boxes to a shelf. The project end result can also be benefitted further development in full size high storage systems.</p>	
Keywords	digital twin, virtual commissioning, storage robot, logic programming, kinematics, mechanics

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustateoria	2
3	Digitaalinen kaksonen	5
3.1	Digitaalinen kaksonen	5
3.2	Digitaalisen kaksosen hyödyt	6
4	Komponentit	8
4.1	IO-Link	8
4.2	Moottorit	10
4.3	Lineaariyksiköt	11
4.4	Taajuusmuuttajat	12
4.5	Logiikkaohjain	13
4.6	Hajautettu I/O	15
4.7	Muovintyöstö	16
5	Suunnitteluohjelmistot	19
5.1	Siemens NX	19
5.2	PLCSIM Advanced	22
5.3	SIMIT	22
5.4	TIA	23
5.5	Ohjelmointi	27
5.6	TIA Selection Tool	29
6	Käyttöliittymä	30
7	Työn kulku	38

7.1	Osien valinta	38
7.2	Varastorobotin suunnittelu	38
7.3	Prototyypin kokoaminen	40
7.4	Tuotannon ulkoistaminen	41
7.5	Valmis tuote	41
7.6	Messut	42
8	Yhteenveto	43
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. Varastorobotin piirikaaviot	
	Liite 2. Lineaariyksiköiden datalehti	

## Lyhenteet

BU	<i>BaseUnit</i> . Liitinpohja johon voidaan liittää erilaisia logiikkakomponentteja.
CAD	<i>Computer-aided Design</i> . Tietokoneavusteinen mallinnus.
CAE	<i>Computer-aided Engineering</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
CAM	<i>Computer-aided manufacturing</i> . Tietokoneavusteinen valmistus.
DB	<i>Datablock</i> . Siemens-logiikoiden tiedostoyksikkö, tiedon väliaikainen tallennuspaikka.
FBD	<i>Function Block Diagram</i> . TIA Portalissa käytettävä koodikieli.
HMI	<i>Human Machine Interface</i> . Ihmisen ja koneen välinen rajapinta.
I/O	<i>Input/output</i> . Laitteiston tulot ja lähdöt.
IOT	<i>Internet of things</i> . Esineiden internet.
IRT	<i>Isochronous Real-Time</i> . Nopeampi PROFINET-luokka.
MCD	<i>Mechatronics Concept Designer</i> . NX:n mekatroniikkatyökalu.
NX	Siemensin 3D-suunnitteluohjelmisto.
OCC	<i>One Cable Connection</i> . Yhden kaapelin kytkentä taajuusmuuttajalta moottorille.
OPC	<i>OLE for Process Control</i> . Automaatiosovelluksissa käytetty tiedonsiirtostandardi.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> . Ohjelmoitava logiikkaohjain.
PMMA	<i>Polymetyylimetakrylaatti</i> . Akryylimuovi eli pleksilasi.

RT	<i>Real-Time</i> . Hitain PROFINET-luokka.
SCL	<i>Structured Control Language</i> . C++ pohjautuva koodikieli TIA Portalissa.
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i> . Siemensin automaatioarkkitehtuuri.

## 1 Johdanto

Insinööritö tehdään Siemens Osakeyhtiölle, joka on maailmanlaajuinen tekniikan alan yritys. Siemens Osakeyhtiö tuo palveluita ja ratkaisuja automaatioon, digitalisaatioon ja sähköistykseen. Se toimii Baltiassa Suomen lisäksi Virossa, Latviassa sekä Liettuassa. Liikevaihto vuonna 2018 Suomessa ja Baltiassa oli 215 miljoonaa euroa sekä maailmanlaajuisesti n. 80 miljardia euroa. [1.]

Projektin tarkoitus on suunnitella ja luoda opetuskäyttöön tarkoitettu digitaalinen kaksonen ja fyysinen malli pienikokoisesta varastorobotista, joiden yhdistelmä mahdollistaa uuden tavan opettaa nykyaikaisia automaatiotekniikan toimintatapoja.

Digitaalinen kaksonen on simulointimalli, joka sisältää mallinnetun työympäristön, jossa voidaan tehokkaasti hallita järjestelmiä ilman vaaratekijöitä. Sen avulla pystyy myös turvallisesti kokeilemaan luodun logiikkaohjelman toimintaa. Fyysisen mallin käyttöön-otossa säästetään merkittävä määrä aikaa ja resursseja tämän avulla.

Fyysinen malli kootaan digitaalisen kaksosen pohjalta, eli kaikki toiminnot vastaavat toisiaan. Päälogiikkana toimii Simatic S7-1500 PLC, joka ohjaa ET200SP hajautettua I/O:ta ja Sinamics S210 -taajuusmuuttajia. Ne ovat kytketty SCALANCE XF204-2BA IRT -kytkimeen. Moottoreina toimivat Simaticin FK-sarjan moottorit.

Varastorobotin luomisessa on käytetty seuraavia ohjelmia: Siemens NX, TIA Portal V15.1, TIA Selection Tool, Sizer V3. Sen tarkoituksena on tuoda markkinoille laadukas ja nykyaikainen opetusympäristö koulukäyttöön. Projektin pohjana on käytetty Siemensin kahden nostimen järjestelmää. [2.]



## 2 Taustateoria

Yhteistyö Siemensin kanssa alkoi jo keväällä 2019, jolloin saatiin innovaatioprojektin aiheeksi suunnitella alustava 3D-malli varastonostimesta. Innovaatioprojektin valmistuttua saatiin opinnäytetyön aihe, jonka tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa toimiva varastorobotti kokonaisuutena sisältäen digitaalisen kaksosen ja fyysisen laitteen. Laitekokoisuus on tarkoitettu oppilaitoksille opetuskäyttöön, mutta sitä voidaan myös hyödyntää täysikokoisten korkeavarastojen jatkokehittämisessä digitaalisen kaksosen ja luodun logiikkaohjelman avulla.

Varastorobotti on kolmiakselijärjestelmä, joka liikkuu X-, Y- ja Z-koordinaatistossa. Kokonaisuus pitää sisällään kolme lineaariyksikköä moottoreineen, logiikkakomponentit, kymmenen IO-Link -anturia ja hyllyn sekä siihen nostettavia laatikoita.

Digitaalinen kaksonen on digitaalinen kopio jostakin prosessista, järjestelmästä, laitteesta tai kokonaisuudesta, jonka avulla voidaan kehittää jo olemassa olevia edellä mainittuja asioita tai luoda kokonaan uusia ratkaisuja. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa optimaalisen, esimerkiksi tehtaan, toimivuuden ennen toteutusta simuloinnin avulla. Projektissa digitaalista kaksosta käytettiin ohjelmakoodin toimivuuden testaamiseen ja mahdollisten vikatilanteiden kartoittamiseen ja niiden eliminoimiseen.

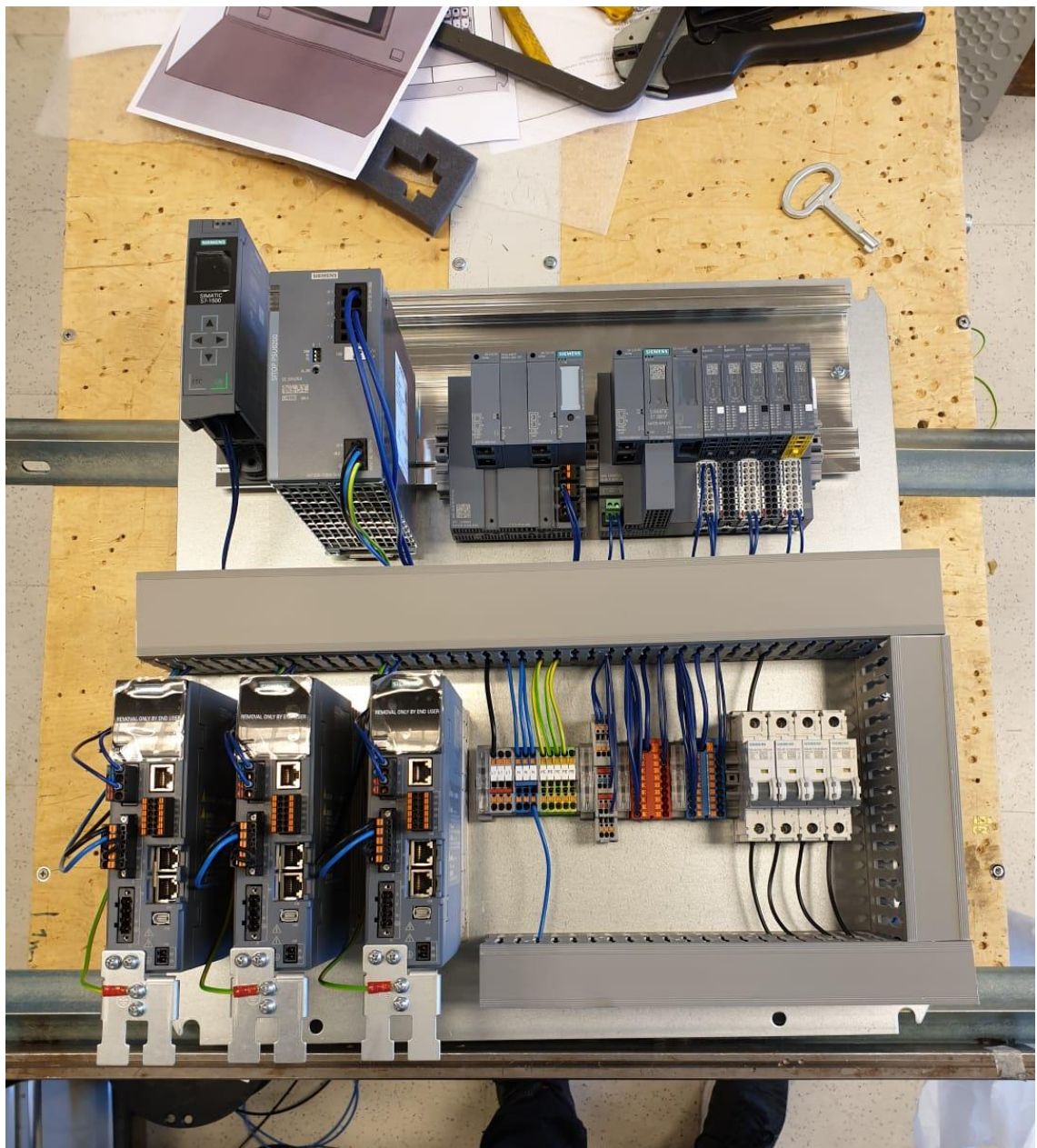
Lähtökohtaisesti kaikki projektissa käytetyt ohjelmistot tulivat Siemensiltä, koska se oli projektin työnantaja. Tämä oli positiivinen asia, koska ohjelmistojen yhteensopivuus nopeutti tiettyjä prosesseja, esimerkiksi laitekokoonpanosuunnitelma voitiin siirtää toiseen ohjelmistoon napin painalluksella. Kuvassa 1 Sami Vapalahti vasemmalla ja Joonas Heino oikealla esittelemässä varastorobottia teknologiamessuilla.



Kuva 1 Teknologia messujen osasto, Päivi Lukka / Siemens Osakeyhtiö.

Teknologiaratkaisussa käytettiin pelkästään Siemensin logiikkakomponentteja, jotka ovat listattu alla. Kuvassa 2 on valmis sähkökaapin sisältö.

- Simatic S7-1511TF -logiikka
- Simatic TP1500 HMI -paneeli
- Sitop PSU6200 -teholähde
- Hajautus-I/O: ET 200SP
- Sinamics S210 -servokäytöt
- Scalance XF204-2BA IRT -kytkin
- Simotics 1FK -moottorit
- TIA Portal V15.1 -ohjelmointiympäristö
- NX Mechatronics -CAD/CAM/CAE-suunnitteluohjelmisto
- NX Mechatronics Concept Designer -simulointiohjelmisto
- Simit-simulointiohjelmisto
- PLC Sim Advanced -ohjelmisto

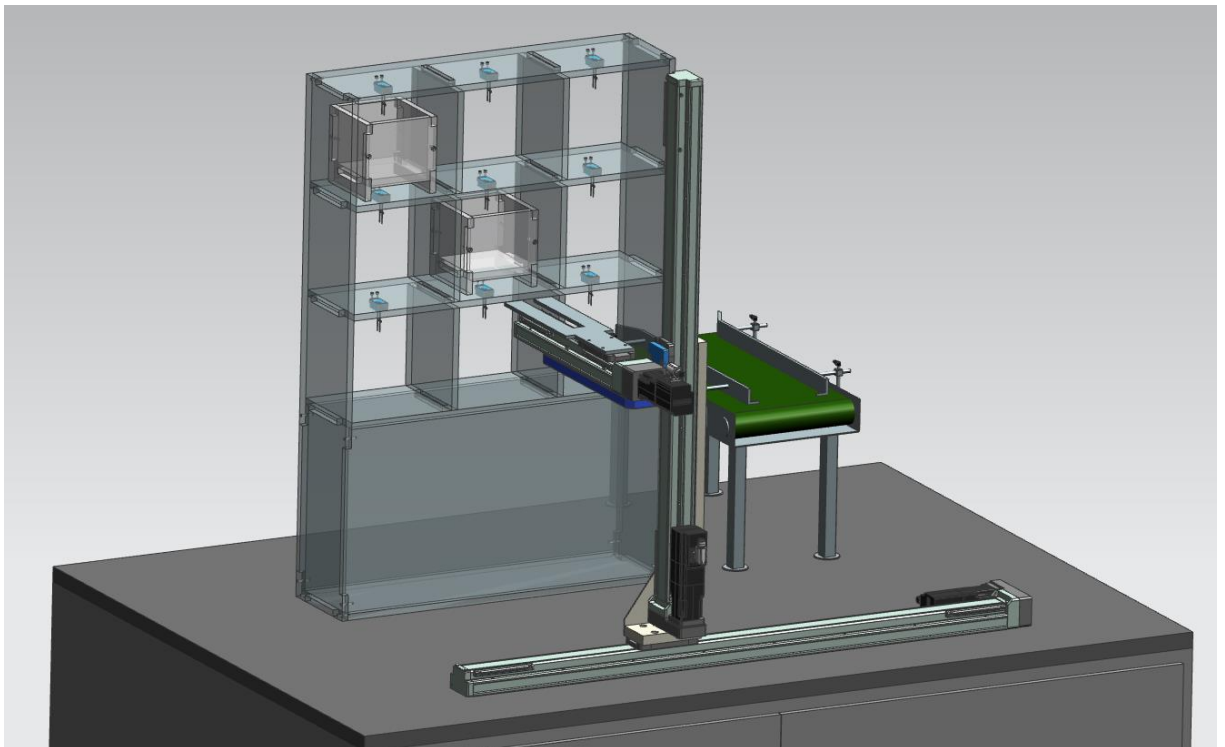


Kuva 2. Sähkökaapin sisältö.

### 3 Digitaalinen kaksonen

#### 3.1 Digitaalinen kaksonen

Digitaalinen kaksonen tarkoitus on luoda mahdollisimman realistinen virtuaalinen ympäristö jostakin prosessista, tuotteesta tai palvelusta, joka vastaa toiminnoiltaan fyysistä mallia. Digitaalisen kaksonen avulla voidaan tehdä simuloitava malli yksittäisistä laitteista tai jopa kokonaisista tehtaista. Toisin sanoen tavoitteena on kopioida mahdollisimman tarkasti haluttu laite tai kokonaisuus. Kuvassa 3 näkyy varastorobotin digitaalinen kaksonen.



Kuva 3. Mallinnettu kokonaisuus NX-ohjelmistossa.



### 3.2 Digitaalisen kaksosen hyödyt

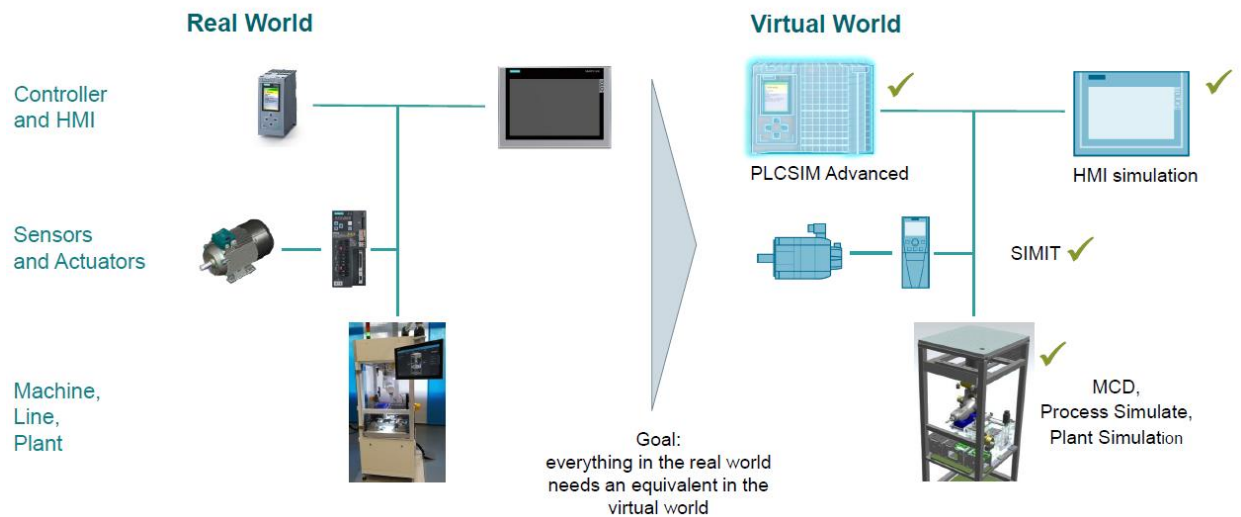
Digitaalisen kaksosen käytön hyötyjä on monenlaisia. Esimerkiksi jos jotain tuotantolinjaa halutaan päivittää uusilla laitteilla/osilla, eikä olla varmoja olisiko se kannattavaa tehtaan tuotettavuuden kannalta, voidaan päivitykset tehdä ensin digitaaliseen kaksoseen ja sen avulla laskea tarvittava data. Tämä tuo etuuksia erityisen paljon esimerkiksi käyttöönotoissa, joissa yritetään selvittää tehtaassa ”pullonkaula”, joka hidastaa tehtaassa toimintaa. ”Pullonkaulana” tehtaassa voi olla liian vähäinen määrä kyseisiä laitteita esimerkiksi, jos pakkaustehtaalla olisi kapasiteettia luoda enemmän pakattuja materiaaleja, mutta pakkaajia on liian vähän. Tällöin digitaalisen kaksosen avulla pystytään toteuttamaan virtuaalinen ympäristö, jossa luodaan tuotantolinjaan lisää pakkaajia ja huomataan niiden vaikutus tehtaassa tuotettavuuteen. Lisäksi tämän avulla voidaan alentaa huomattavasti käyttö- ja ylläpitokustannuksia kerätyn datan avulla.

Digitaalisen kaksosen avulla voidaan ”ennustaa tulevaa” sen sijaan, että käytetään vanhaa dataa ja lasketaan niiden perusteella erilaisia asioita. Tämä antaa mahdollisuuden valmistajille edetä kohti ennakoitavia liiketoimintatapoja. Projektimme digitaalinen kaksosen ei varsinaisesti ollut mikään tehdas tai vastaava eli minkäänlaista tuotantolinjan optimointia tai prosessin kehittämistä ei voitu toteuttaa. Siitä oli kuitenkin suuri hyöty etenkin ohjelmoinnissa, sillä ilman sitä olisimme joutuneet testaamaan tekemäämme koodia vasta fyysisellä laitteella. Tässä tilanteessa olisi ollut suuri riski komponenttien hajoamiseen törmäystilanteessa. Ilman digitaalisen kaksosen käyttöä näin olisi melko varmasti päässyt tapahtumaan, koska liikeradat toteutettiin meille ihan uudella tavalla, eikä sen toiminnasta oltu täysin varmoja. Tämä asia voidaan johtaa suoraan suuriin tuotantolaitoksiin, eli isoilta korjauskustannuksilta välttyään digitaalisen kaksosen avulla esimerkiksi tilanteissa, joissa tehtaaseen/laitteeseen on asennettu uusia komponentteja ja niiden toimintaa pitäisi testata käytännössä. Tätä voidaan kutsua virtuaaliseksi käyttöönotoksi, eli mahdolliset virhetilanteet nähdään jo simulointivaiheessa ja näin niitä pystytään välttämään fyysisen tuotantolaitoksen käyttöönotossa. Virtuaalisen käyttöönoton aikana voidaan myös selvittää aikaisemmin mainitut ”pullonkaulat”.

Kuva 4 havainnollistaa perusteellisesti, kuinka digitaalinen kaksonen toimii verrattuna oikeaan maailmaan. Käytännössä molemmat ympäristöt pitävät sisällään samat ominaisuudet, mutta eri muodossa.

### Behavior Simulation with SIMIT to fill the gap in between Automation and PLM

**SIEMENS**  
*Ingenuity for life*



Kuva 4. Oikea maailma vs virtuaalinen maailma, Siemens Technical Slides - SIMIT S [10].

## 4 Komponentit

Logiikkana työssä käytettiin Siemensin omia tuotteita. Vaatimuksina olivat uudemman sukupolven komponentit ja kyky käyttää turvalaitteita sekä teknologiaobjekteja, kuten liikeohjausta. IO-moduulit on toteutettu työssä hajautetun IO:n avulla ET200SP-yksiköllä. ET200SP sisältää kahdeksan paikkaisen turvalaitemoduulin, kaksi kahdeksanpaikkaista input-moduulia, kaksi kappaletta kahdeksanpaikkaista output-moduulia sekä kolme neljäpaikkaista IO-link Masteria. Kaikki toimilaitteet on yhdistetty SCALANCE XF204-2BA IRT -kytkimen avulla. Liikeohjauksen takia työssä on käytettävä laitteita, jotka tukevat nopeampaa PROFINET-luokkaa (IRT) hitaamman (RT) sijaan.

### IO-Link

IO-Link on uusi digitaalinen standardi, joka mahdollistaa kokonaisen tehtaan digitalisoinnin ja sen ansiosta voidaan hyödyntää älykkäitä antureita. Tärkeimpinä etuina on reaaliaikainen tiedonsiirto, automaattinen parametointi ja anturien helppo asennus sekä vaihto ilman tuotantokatkoksia. IO-Link -anturit toimivat myös yhteistyössä tavallisten vakioantureiden kanssa, eli älykkäät anturit voidaan sijoittaa vain paikkoihin, joissa niitä tarvitaan. Diagnostiikka (laitteiden virhetilat ja hälytykset) näkyvät etänä, mikä helpottaa vian etsimistä.

### IO-Link -anturit

Projektissa käytettiin SICK:in valmistamia WLG4C-3P2232A70 IO-Link-valokennoantureita. Ne todettiin sopiviksi niiden pienen koon ja kohtuullisen hinnan vuoksi. Jokaiseen hyllypaikkaan kiinnitettiin oma anturi ruuveilla sen "kattoon" ja anturin alapuolelle asetettiin pala heijastinteippiä, joka heijastaa valonsäteen takaisin anturille. Kun laatikko saapuu hyllypaikkaan, valonsäde katkeaa ja anturi antaa muuttuneen paikkatiedon IO-Link Masterin kautta PLC:lle. Tämä muutos näkyy myös HMI-paneelilla, jossa visualisoidaan hyllypaikkojen tilannetta reaaliajassa.

Paikkatietojen lisäksi anturit pystyvät antamaan tiedon signaalin voimakkuudesta, likaisuudesta ja ennakoivasta hajoamisesta. Valitsemillamme antureilla on lisäksi toiminto, joka mahdollistaa paikkatiedon antamisen myös lasin tai läpinäkyvän akryylimuovin läpi.

### IO-Link Master

IO-Link Master on jokaisessa IO-Link -ratkaisussa tarvittava komponentti. Sen pääasiallinen tehtävä on tiedonsiirto anturien ja päälogiikan välillä. Projektissa käytettiin ET200SP IO-Link -moduuleita, joista jokainen mahdollistaa neljän eri laitteen kiinnityksen. Kyseisiin Mastereihin antureiden asentaminen ei ole helpointa, koska ne eivät sisällä M8- tai M12-liittimiä vaan piuhat jouduttiin itse liittämään riviliittimiin. Valinnassa ratkaisi kuitenkin niiden alhainen hinta ja yhteensopivuus ET200SP-hajautusaseman kanssa.

IO-Link Masterin avulla pystytään tuomaan antureilta suurempi määrä tietoa pelkän tunnistustiedon sijaan. Työssä IO-Link Masteria on käytetty hyllypaikkojen tunnistamiseen. Lisäetuina IO-Link Masterissa on se, että antureita pystyy säätämään haluttuun arvoon oman ohjelman avulla ja antureita vaihdettaessa tuote on saman tien käyttövalmis, eikä erillistä konfiguraatiota tarvitse tehdä.



#### 4.1 Moottorit

Varastorobotin liikeohjaus tapahtuu 1FK2-sarjan servomoottoreilla. Kyseiset moottorit ovat pienikokoisia ja antavat tarvittavan väännön akselien liikuttamiseen. Paikkatietoa voidaan seurata moottorin sisälle rakennetun absoluuttisen enkooderin avulla. Moottorit ovat 0,1 kw kokoluokkaa ja ne tuottavat 0,32 nm nimellismomenttia ja maksimissaan 1,11 nm 2800 kierrokseen minuutissa asti. Maksiminopeus moottoreilla on 8000 kierosta minuutissa.

X- ja Y-akselit käyttävät jarruttomia moottoreita ja Z-akseli käyttää jarrullista. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska muille kun Z-akselille ei katsottu tarpeelliseksi jarrullista moottoria, sillä niiden ei tarvitse nostaa mitään massoja vertikaalisuunnassa. Kuvassa 5 on 1FK2-sarjan moottori, jota käytettiin varastorobotin ohjaukseen.



Kuva 5. 1FK2-sarjan moottori [7].

## 4.2 Lineaariyksiköt

XYZ-järjestelmän liikkeet tuotettiin SMC Automationin valmistamilla lineaariyksiköillä. Yksiköiksi valittiin LEFS25-sarjan kuularuuvilla toimivat lineaariyksiköt. Toimiakseen jokainen lineaariyksikkö tarvitsee moottorin, joka on teholtaan vähintään 100 W ja momentiltaan 0,32 nm. Akselit ovat erittäin tarkkoja ja niille luvataan  $\pm 0,02$  mm toistuva paikanus. Tarkat tiedot löytyvät akselien datalehdessä (liite 2).

Turvallisuuden vuoksi akselit ovat mitoitettu nopeudeltaan sellaisiksi, että varastorobottia voidaan käyttää ilman erillistä suojakupua. Myös kuularuuvit on suojattu alumiinikotelolla, jotta tapaturman mahdollisuus olisi mahdollisimman vähäinen. Suurin riski laitteella on, että käyttäjän ruumiinosa jää haarukan ja hyllyn väliin. Akseleiden pätyihin on asennettu erilliset päätyanturit, joilla estetään laitetta ajamasta omien arvojen yli.

### 4.3 Taajuusmuuttajat

Varastorobotin moottoreita ohjataan Sinamics S210 -taajuusmuuttajilla, jotka ovat suunniteltu ohjaamaan kyseisiä 1FK2-sarjan moottoreita. Niiden tehtävä on muokata sähkömoottorille tuleva syöttöjännite ja -taajuus, joita säätämällä saadaan moottori pyörimään halutulla nopeudella. Toimiakseen S210-taajuusmuuttaja tarvitsee erikseen pistorasiasta 1AC 230 V:n jännitteen sekä virtalähteeltä 24 V:n tasajännitettä ja 1,6 A:n virtaa. Etuina S210-taajuusmuuttajilla on niiden kompakti koko ja moottorin väliseen yhteyteen tarvitaan vain yksi OCC-kaapeli. Kuten kuvasta 6 käy ilmi, on taajuusmuuttajissa monia eri kytkentämahdollisuuksia, joista välttämättömiä ovat ainoastaan jännitesyöttö ja moottorikaapeli.

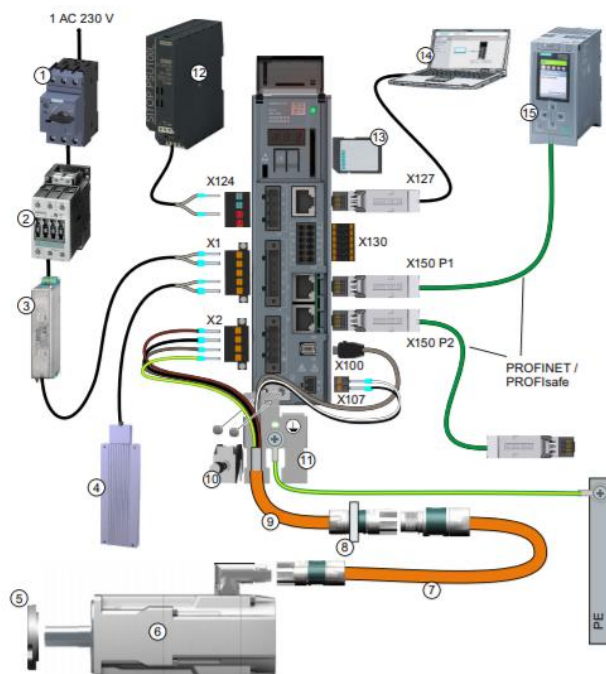


Figure 2-2 System components and accessories for converters with 1 AC line connection

- |  |   |
|--|---|
| ① Fuse or circuit breaker                                | ⑨ OCC connection cable for motor, motor holding brake and encoder |
| ② Line contactor (optional)                              | ⑩ Shield clamp  |
| ③ Line filter (optional)                                 | ⑪ Shield plate  |
| ④ External braking resistor (optional)                   | ⑫ 24 V power supply   |
| ⑤ Shaft sealing ring for IP65 (optional)                 | ⑬ SD memory card (optional)                                       |
| ⑥ 1FK2 servomotor  | ⑭ Commissioning device  |
| ⑦ OCC extension cable (optional)                         | ⑮ Controller, e.g. SIMATIC S7-1500                                |
| ⑧ Mounting flange for control cabinet bushing (optional) | X1: Connector for line cabling - option                           |
|  | X3: Connector for DC link cabling - option                        |

Kuva 6. S210-taajuusmuuttajan kytkentä. [8, s. 23].

#### 4.4 Logiikkaohjain

PLC:ksi eli logiikkaohjaimeksi valittiin SIMATIC S7-1500 -sarjan 1511TF-1 PN -mallinen CPU. Tämä prosessiyksikkö valittiin, koska se sisältää laitteellemme tarvittavia ominaisuuksia, joita ovat kinematiikassa tarvittavat teknologiaobjektit, turvatoiminnot ja riittävän suuri työmuisti.

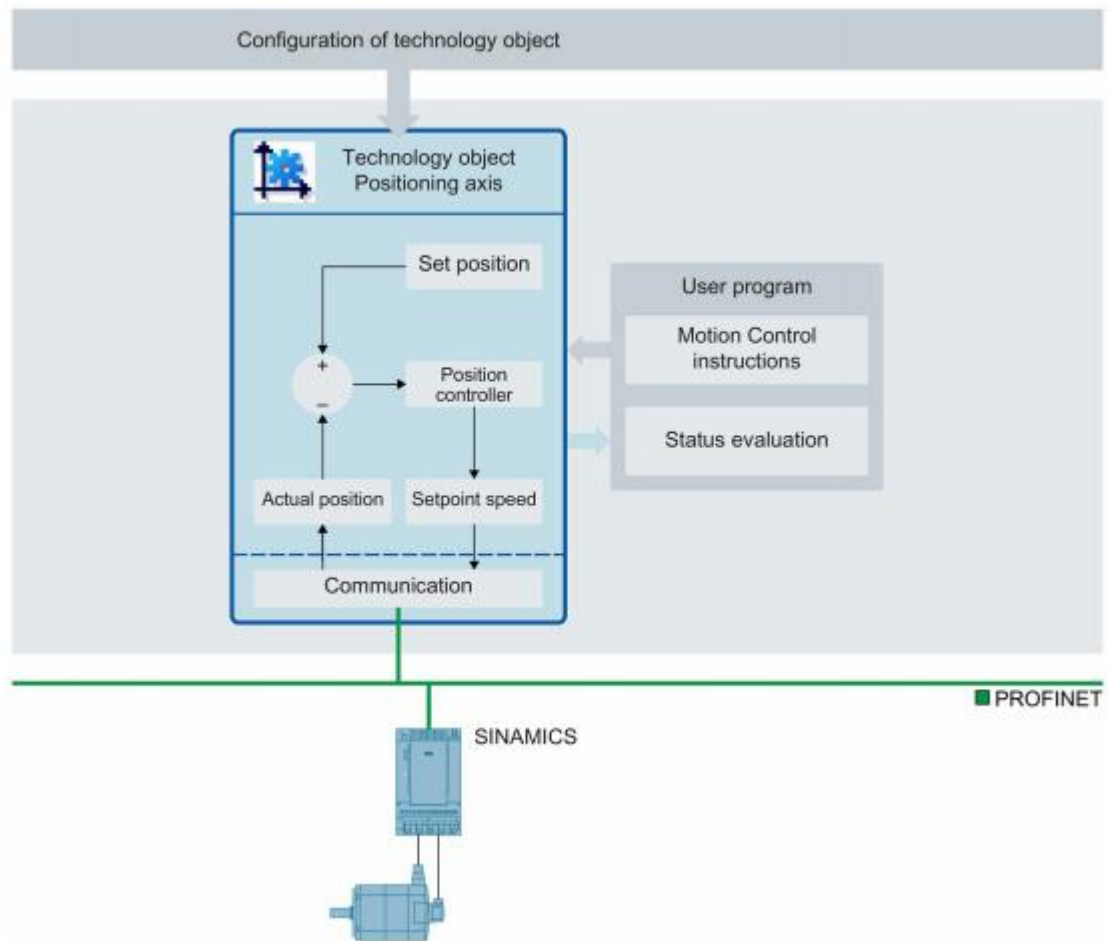
##### Teknologiaobjektit

Teknologiaobjekteilla luotiin varastorobotin lineaariyksiköiden liikeradat. Teknologiaobjektien tarkoituksena on esittää logiikkaohjaimelle mekaanisia komponentteja, jotka tarvitsevat liikeohjausta. Jokaiselle akselille luotiin oma teknologiaobjekti, joille määriteltiin fyysisen mallin mukainen koko, liikkeen pituus ja enkooderin tyyppi. Teknologiaobjekteja on useita erilaisia, kuten Speed axis (TO\_SpeedAxis), Positioning axis (TO\_PositioningAxis) ja Synchronous axis (TO\_SynchronousAxis). Näistä tarvittiin vain paikoituksen mahdollistavaa TO\_PositioningAxis-objektia, joka laskee liikeradan sijainnin asetus pisteet ottaen huomioon enkooderin asetukset ja vie vastaavat nopeuden ja paikoituksen asetusarvot taajuusmuuttajalle. Enkooderin arvojen ja määritetyn sijainnin välinen suhde määritetään mekaanisten ominaisuuksien ja enkooderin asetusten parametrien osoittamisella ja kohdistamisella.

Valitun teknologiaobjektin parametointi on yksinkertaista, kaikki tarvittava löytyy Configuration -valikosta. Basic parameters -välilehdellä on objektin nimeäminen ja akselin tyyppin valitseminen (lineaari- tai pyöröakseli). Lisäksi sieltä voi valita, halutaanko akselin paikoituksessa käyttää esim. millimetrejä vai metrejä tai nopeudessa mm/s- vai km/h-yksiköitä. Hardware interface -asetuksissa määritellään ajot eli käytetyt taajuusmuuttajat ja se, onko enkooderin tyyppi absoluuttinen vai inkrementaalinen. Extended parameters -valikosta löytyy erilaisia objektiin liittyviä rajoja, kuten maksiminopeus (Maximum velocity) ja maksimikiihtyvyys (Maximum acceleration). Sieltä voidaan myös asettaa normaaliikäytön kiihtyvyydet ja nopeudet.

Varastorobotin lineaariyksiköiden konfiguroinnin jälkeen voidaan sitä simuloida eli ajaa teknologiaobjektia eri suuntiin Commissioning-valikosta. Ensiksi täytyy aktivoida Master

Control ja laittaa akseli ”päälle” valitsemalla Enable, jonka jälkeen voidaan akselia ajaa halutulla nopeudella. Kuvassa 7 näkyy paikoitusobjektin toimintaperiaate.



Kuva 7. Teknologiaobjektin toimintaperiaate. [9, s. 110].

## Turvaominaisuudet

1511TF-1 PN sisältää integroidut turvaominaisuudet. Tämä mahdollistaa sen, että tarvittavat turvatoiminnot pystyttiin toteuttamaan samassa TIA Portal -projektissa kuin muutkin varastorobotin toiminnot. Turvatiedot kulkevat PROFI-safe-protokollan avulla, mikä tarkoittaa sitä, että normaali ja turvatiedonsiirto liikkuvat saman PROFINET-kaapelin kautta. Tämä vähensi huomattavasti tarvittavaa kaapelointia, koska kaikki varastorobotin turvalaitteet voitiin liittää samaan ET200SP -turvamoduuliin.

S210-taajuusmuuttajiin hankittiin laajennetut turvatoiminnot. Se tapahtui asettamalla jokaiseen taajuusmuuttajaan Extended Safety License SD-muistikortit.

### 4.5 Hajautettu I/O

Hajautetun I/O:n mahdollistavaa ET200SP:tä käytettiin, jotta lähtö- ja tulopiirit saataisiin lähemmäs varastorobotin toimilaitteita. Tämän avulla kaapelointi saatiin järkevämmäksi, koska ei tarvinnut viedä jokaista kaapelia varastorobotin prosessiasemalle asti vaan riitti pelkästään yksi PROFINET-kaapeli ET200SP:n ja PLC:n välille.

ET200SP -toimilaitetta laajennettiin asentamalla erilaisia moduuleita. Valitut laajennukset koostuivat kahdeksanpaikkaisesta turvalaitemoduulista, kahdesta kahdeksanpaikkaisesta input moduulista ja kahdesta kahdeksanpaikkaisesta output-moduulista. IO-Link -protokollan mahdollisti IO-Link master -moduulit.

## 4.6 Muovintyöstö

Projektissa tarvittavat hylly ja laatikot suunniteltiin, leikattiin ja koottiin kokonaan itse. Tarkoituksena oli saada tukeva ja yksinkertainen yhdeksänpaikkainen hylly ja siihen aseteltavia laatikoita. Hyllyssä käytettiin materiaalina kirkasta 6 mm:n paksuista PMMA-akryyliä ja laatikoissa 5 mm:n valkoista PMMA-akryyliä.

### Suunnittelu

Hylly ja laatikot suunniteltiin MCD-ohjelmistossa. Sen avulla oli helppo varmistaa, että kaikki liitospaikat osuvat kohdilleen ja osat ovat oikean kokoisia, koska kappaleet voitiin kasata kokoonpanoon samalla tavalla kuin oikeassa elämässä. Varmistamisen jälkeen osista tehtiin ”pohjapiirustukset” eli CAD-kuvat.

Valmiit CAD-tiedostot avattiin Adobe Illustrator -ohjelmassa, jossa määriteltiin leikkaus- eli vektoriviivat. Jos viiva oli alle 0,01 mm paksu, laserleikkuri leikkasi sen ja kaikki tätä paksummat viivat se kaiversi. Viivan kokoa voitiin säätää Illustratorin työkaluilla. Kun vektoriviivat olivat valmiita, tulostettiin CAD-kuvat pdf-muotoon ja lähetettiin laserleikkurille, jonka jälkeen laserleikkuri alkoi leikata.

### Leikkaus

Laserleikkaus tapahtui Iso Omenan kirjaston pajalla. Laserleikkurina oli Epilog Fusion M2 32 50W CO2 -mallinen leikkuri. Sen käyttö oli hyvin yksinkertaista, koska se toimi samalla periaatteella kuin tavallinen toimistotulostin. Ensiksi tietokoneella painettiin tulosta-nappia ja kun työ näkyi leikkurin näytöllä, painettiin tulostuksen aloittavaa vihreää nappia. Leikattavat levyt olivat kooltaan 800 x 500 mm, joka on maksimikoko, jota kyseisellä laserleikkurilla voidaan leikata. Jotta akryylimuovin leikkaus oli mahdollisimman kustannustehokasta, osia mahdutettiin yhdelle levylle niin paljon kuin mahdollista.

Laserleikkurin ”hävikkiä” eli sen syömää määrää leikkausviivasta ei katsottu tarpeelliseksi ottaa huomioon, koska tiiviitä sormiliitoksia ei tarvittu ja leikatut osat liimattiin yh-

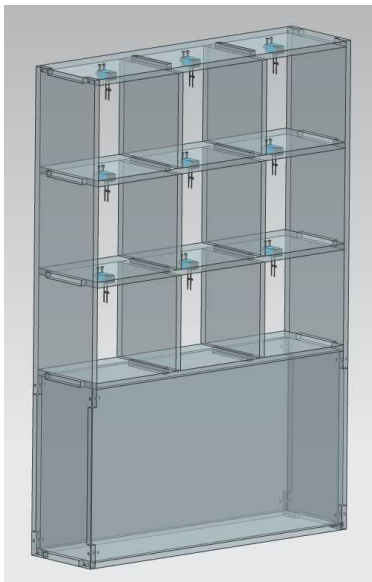
teen. Hävikkiä kutsutaan englanniksi termillä "kerf" ja se on n. 0,25 mm leveä. Eli leikkausviivan molemmilta puolilta häviää materiaalia n. 0,125 mm:n verran. Tämän voisi välttää laajentamalla vektoriviivojen rajaamaa aluetta 0,125 mm joka suuntaan.

## Hylly

Suunniteltu hylly on 780 mm korkea, 534 mm leveä ja syvyydeltään 150 mm. Tarkoituksena oli saada helposti kasattava ja tukeva ratkaisu mahdollisimman vähillä osilla. Tässä tavoitteessa onnistuttiin.

Hylly koostuu viidestä erilaisesta osasta, joita on kokonaisuudessaan 15 kappaletta. Siinä on kolme kerrosta ja kolme pystyriviä, eli yhdeksän hyllypaikkaa. Kolmessa ylimässä välilevyssä on antureille tehty ruuvipaikat, jotka leikattiin laserleikkurilla. Jokainen osa liittyy toiseensa yhden sormiliitoksen avulla.

Etuseinään kaiverrettiin Siemensin logo, jonka voi halutessaan valaista LED-nauhalla. Adobe Photoshopissa avattiin kuva Siemensin logosta ja muutettiin se mustavalkoiseksi. Uusi kuva vietiin Illustratoriin ja, koska se oli paksumpi kuin 0,01 mm, laserleikkuri kaiversi sen. Kuvassa 8 on mallinnettu hylly, jossa jokaisen hyllypaikan "katossa" on paikointusanturi.



Kuva 8. Mallinnettu hylly NX-ohjelmistossa.



### Hyllyyn nostettava laatikko

Hyllyyn nostettava laatikko on 110 mm leveä, 120 mm korkea ja 120 mm syvä. Tilavuudeltaan se on 1,045 litraa. Se suunniteltiin samalla periaatteella kuin hylly, eli osat ovat toisissaan kiinni yhdellä isolla sormiliitoksella liimauksen helpottamiseksi. Laatikoiden pohjalevyt valmistettiin kirkkaasta akryylistä, anturien kirkkaiden materiaalien havainnoinnin esittämiseksi. Laatikko koostuu viidestä osasta: yhdestä pohjalevystä, kahdesta sivuseinästä sekä etu- ja takaseinästä.

## 5 Suunnitteluohjelmistot

### 5.1 Siemens NX

NX, joka aikaisemmin tunnettiin nimellä “Unigraphics”, on edistynyt ohjelmisto CAD/CAM/CAE -suunnitteluun. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ohjelmisto pitää sisällään työkalut tietokoneavusteiseen mallinnukseen, suunnitteluun ja valmistukseen. Se on kehitetty yhdistämällä I-DEAS- ja Unigraphics-ohjelmistojen toiminnallisuuksia. Pääasialliset käyttökohteet ovat suunnittelun, valmistuksen ja tuotekehityksen eri tarpeet. Erityisesti autoteollisuudessa pystytään hyvin hyödyntämään NX:n tarjoamat työkalut kuten lujuus-, värähtely- ja toleranssianalyysit. Lisäksi sen pitkälle kehittynyt ilmavirtauksien simulointi on erityisesti kilpa-autovalmistajien suosiossa. Tästä hyvä esimerkki on formulatalli Red Bull Racing, joka mallintaa formula-autonsa täysin Siemens NX -ohjelmistolla. Muita suuria yrityksiä on mm. LEGO, Samsung ja suomalainen Konecranes. NX:än käytön suurin hyöty on kuitenkin sen modulaarisuus, eli käyttäjä voi itse valita tarpeisiinsa kuuluvat toiminnalliset työmoduulit, joita ovat esimerkiksi muotoilu, mekaniikka, visualisointi ja simulointi. [4.]

#### MCD

MCD eli Mechatronics Concept Designer, on yksi NX:n työmoduuleista, joka mahdollistaa erilaisten laitteiden kokoonpanon ja simuloinnin. Tätä hyödyntäen pystytään myös toteuttamaan virtuaalista käyttöönottoa, joka on nykyaikainen tapa erilaisten kokonaisuuksien tai yksittäisten laitteiden suunnittelussa ja optimoinnissa.

MCD:ssä olevaa simulointimallia voidaan ohjata eri tavoilla. Pääasiallisesti se tapahtuu yhdistämällä TIA Portalissa luotu PLC-koodi SIMIT:in kautta MCD:hen. SIMIT toimii tässä tapauksessa niin sanotusti signaalien yhdistäjänä. Tämä mahdollistaa myös SIMIT-ohjelmistokirjastosta löytyvien esim. moottorinohjaukseen tarkoitetun ProfiDrive-ohjelmaloikon käytön. Yksinkertaisempi tapa on ajaa PLC-koodi suoraan PLCSIM Advanced ohjelmiston kautta MCD:n signaaleihin. Tämä vaatii signaalien kartoituksen (Signal Mapping) MCD:n puolella, joka aikaisemmin tapahtui SIMIT:ssä. Tätä suositellaan yksinkertaisempien kokoonpanojen käyttöönotossa ja simuloinnissa. MCD ei kuitenkaan

vaadi toimiakseen TIA Portalin, SIMIT:in tai PLCSIM Advancedin käyttöä, vaan muuttujille voidaan antaa arvoja suoraan itse ohjelmistosta löytyvän Runtimen kautta. Tämä on kuitenkin vain hyvin yksinkertaista ON/OFF -tyylistä ajoa, eikä mitään automatiikkaa ole mahdollista toteuttaa.

MCD:n työkaluista löytyy lukuisia erilaisia liikkeitä ja voimia, joilla saadaan simulointimalli liikkumaan halutulla tavalla. Esimerkiksi varastorobotin suunnittelussa käytettiin *Sliding Joint*-työkalua, jonka avulla luotiin liikeradat X-, Y- ja Z-akseleille. Muita usein käytettyjä liikkeitä ovat esim. *Hinge Joint* (saranaliike) ja *Screw Joint* (pyörivä liike, esim. poranterä).

Paikoitusantureita voidaan simuloida *Collision Sensor*-työkalun avulla. Mallinnettuun hyllyyn luotiin jokaiselle hyllypaikalle oma viivamallinen *Collision Sensor* ja jokaiselle niistä määritettiin oma muuttuja. Kun tällaiseen viivaan ”törmää” jokin kappale, jolle on luotu törmäyspinta eli *Collision Body*, muuttuu sen viivan muuttuja arvoksi 1. Tämä signaali tulee SIMIT:in kautta simuloidulle PLC:lle ja tieto hyllyyn saapuneesta laatikosta näkyy HMI-näytöllä.

Kappaleista luodun kokoonpanon kinemaattinen ketju, eli ”jäykkien kokonaisuuksien” yhdistäminen, saadaan aikaiseksi *Rigid Body*-työkalulla. Sillä määritetään mitkä kappaleet ovat toisissaan kiinni fyysisesti ja mitä komponentteja kukin akseli kantaa. Varastorobotin digitaalisen kaksosen kinemaattinen ketju on toteutettu siten, että X-akselin liikkuvan osan eli kelkan tehtävänä on kantaa ja liikuttaa Z-akseliin kuuluvaa lineaariyksikköä sekä moottoria. Vastaavasti Z-akselin ”jäykkään kokonaisuuteen” eli *Rigid Bodyyn* kuuluu sen kelkka sekä Y-akselin yksikkö ja moottori. Näiden avulla voitaisiin määritellä myös kunkin akselien massat sekä inertiat ja niiden välille syntyvät vetolujuudet tai värähtelyt, mutta kyseisiä asioita ei kuitenkaan nähty tarpeelliseksi toteuttaa projektissamme.

## Modeling

Varastorobotin 3D-mallintaminen tapahtuu NX:n Modeling työmoduulissa. Se on toimintaperiaatteeltaan hyvin samantapainen ja sisältää samoja työkaluja kuin useimmat muut mallinnusohjelmistot kuten SolidWorks ja Catia. Kaikki lähtee ensimmäisen *Sketchin*, eli halutun mallisen 2D-luonnoksen piirtämisestä. *Sketchiä* voidaan tämän jälkeen laajentaa haluttuun suuntaan Extrude-työkalulla. Kun mallille on annettu tarvittava paksuus ja muoto voidaan siihen lisätä tarvittaessa pyöristyksiä, reikiä, kaltevia reunoja ja monia muita kappaleen muotoon vaikuttavia tekijöitä. Usein komponentteja mallintaessa ei riitä vain yksi luonnos eli *Sketch*, vaan niitä voidaan piirtää rajaton määrä kappaleen monimutkaisuuden mukaan. Projektissa tarvittavat kappaleet, kuten hylly ja laatikko, pysyivät varsin yksinkertaisina, joten haastaviin mallinnuksiin ei ollut tarvetta. Tätä helpotti myös se, että SMC toimitti valmiit 3D-mallit tilatuista lineaariyksiköistä, joten niihin tarvitsi vain lisätä liikeradat.

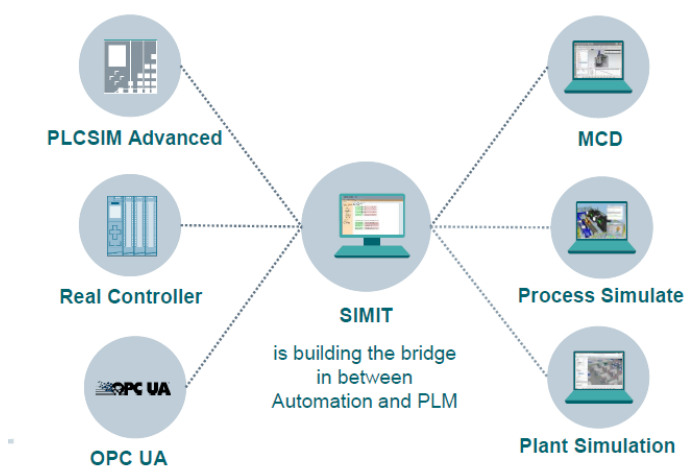
Kun kaikki tarvittavat kappaleet on mallinnettu, ne voidaan viedä yhteen Assembly -tiedostoon. Se on kappaleen tai laitteiston tai kokoonpanotiedosto, jossa osat liitetään toisiinsa *Assembly Constraintin* avulla tai pelkästään liikuttamalla niitä XYZ-koordinaatistossa. *Assembly Constraint* mahdollistaa tarkan liitoksen eri parametrien perusteella. Yleisin näistä on *Touch Align*, joka siirtää valitut pinnat kosketukseen toistensa kanssa. Tämä on hyödyllinen työkalu laatikon ja hyllyn kasaamisessa, sillä sen avulla saadaan sormiliitokset tarkasti toisiinsa kiinni. Toinen paljon käytetty toiminto on *Parallel*, joka määrittelee kahden kohteen suuntavektorit rinnakkain toistensa kanssa. Tämän avulla esim. hylly saadaan suoraan linjaan X-akselin mukaisesti. Kun mallinnetut kappaleet on asetettu oikeisiin paikkoihin Assembly-tiedostossa, voidaan siirtyä MCD-puolelle ja aloittaa mahdollisten liikkeiden simulointi.

## 5.2 PLCSIM Advanced

SIMATIC S7-PLCSIM Advanced on Siemensin tarjoama ohjelmisto, joka mahdollistaa kokonaisvaltaisen toimintojen simuloinnin sekä konfiguroinnin suunnittelun aikana TIA Portalilla ilman, että tarvitaan fyysistä S7-1500- tai ET200SP-laitteistoa. Toisin sanoen se toimii virtuaalisena ohjelmoitavana logiikkana. Toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen, ensiksi PLC-instanssille annetaan nimi. Seuraavaksi täytyy valita PLC-tyyppi eli joko CPU 1500 tai ET200SP. Sitten painetaan Start-nappia, jonka jälkeen ohjelma antaa itselleen IP-osoitteen ja käynnistää virtuaalisen PLC:n. TIA Portalissa ohjelmakoodin lataaminen kyseiselle logiikalle käy samaa reittiä kuin lataisi ohjelman fyysiselle PLC:lle. Ainoa ero on, että PG/PC interface kohtaan täytyy valita PLCSIM.

## 5.3 SIMIT

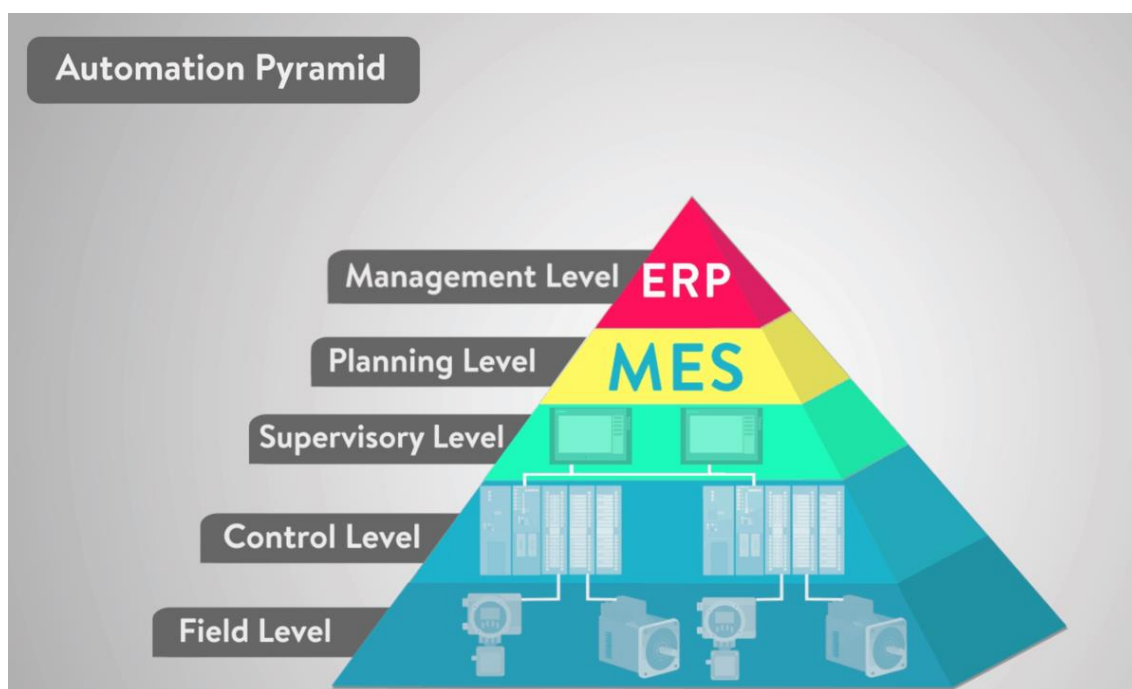
SIMIT on Siemensin tarjoama virtuaalisen käyttöönottoon luotu ohjelmisto. Sillä voi testata järjestelmiä ilman fyysisiä laitteita, kaikki tapahtuu sen omassa simulaatioympäristössä. Projektissamme SIMIT:iä käytettiin signaalien yhdistämiseen, esimerkiksi MCD:ssä luodut hyllyjen paikoitusanturit yhdistettiin TIA Portal muuttujiin SIMIT:in työkaluilla. Kuvassa 9 on kiteytetty SIMIT:in toimintaperiaate.



Kuva 9. SIMIT-yhteydet, Siemens Technical Slides - SIMIT S [10].

## 5.4 TIA

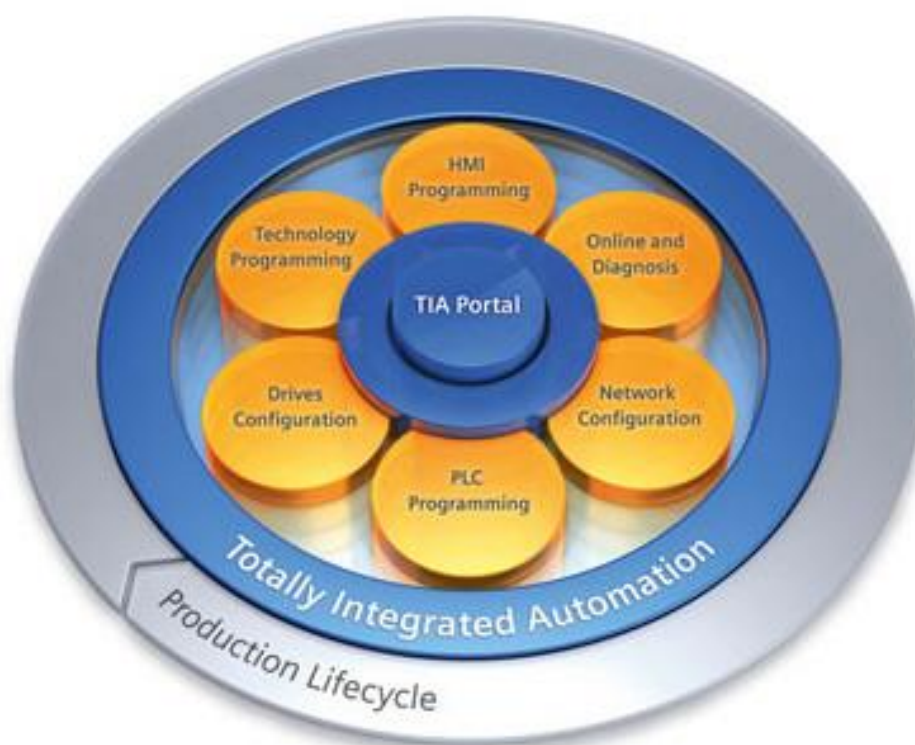
TIA (Totally Integrated Automation) on Siemensin vuonna 1996 kehittämä strategia automaatiotekniikassa, joka määrittelee vuorovaikutuksen eri yksittäisten komponenttien, työkalujen ja palveluiden välille automaattoratkaisun saavuttamiseksi. Tämä interaktio käy läpi automaatiopyramidin viisi tasoa: johto-, suunnittelu-, operaattori-, valvoja- sekä kenttätason. Automaatiopyramidi on kuvallinen esitys tehtaan erilaisista automaatiota- soista. Kuva 10 havainnollistaa automaatiopyramidin. [5.]



Kuva 10. Automaatiopyramidi [5].

## TIA Portal

TIA Portal on Siemensin tarjoama ohjelmistopaketti, joka sisältää lähes kaiken tarvittavan automaatiojärjestelmän konfigurointiin software (ohjelmisto) ja hardware (laitteisto) puolella. Se antaa käyttäjälle mahdollisuuden määrittää järjestelmän ohjauksen, HMI:n, ajot, moottorien hallinnan, hajautetut ohjauslaitteet, liikeohjauksen ja sähkönjakelun. Kuvassa 11 näkyy, miten TIA Portal sijoittuu TIA-perheeseen.



Kuva 11. Havainnollistava kuva siitä, mitä TIA Portal pitää sisällään [6].

## PLC-ohjelmointi

PLC-logiikkaohjelmointi tapahtuu SIMATIC STEP 7 -ohjelmiston avulla. Se on maailman tunnetuin ja yleisimmin käytetty ohjelmistotyökalu teollisuusautomaatiossa ja se tarjoaa laajat kirjastot eri tarkoitukseen tarkoitettuja ohjelmointilohkoja. Logiikkaohjelmointi on TIA Portalin ydintoiminto ja sen takia siitä on pyritty tekemään mahdollisimman helposti opittavaa ja käyttäjäystävällistä. Tätä helpottaa graafinen ohjelmointi eli toimintolohkojen käyttö, mikä tarkoittaa sitä, että raakaa koodia ei ole STEP 7:ssa välttämätöntä kirjoittaa vaan samaan lopputulokseen päästään yhdistelemällä kirjastosta löytyviä lohkoja. Projektin ohjelmointi tehtiin kyseisten lohkojen ja SCL-kielen yhdistelmällä. Lisäksi ohjelman mukana tulevaa vakiokirjastoa voi laajentaa internetistä ladattavilla laajennuspaketeilla ja niitä voi myös tehdä itse ja jakaa muiden käyttöön.

## HMI-paneeli

HMI-paneelin suunnittelu ja konfigurointi tapahtuivat SIMATIC WinCC:llä. Sillä voidaan luoda käyttöratkaisut yksinkertaisimmista Basic-paneeleista aina monikäyttäjäjärjestelmiin SCADA ratkaisuihin. Projektissa oli käytössä KTP1500 Comfort -paneeli, joka on toiminnoiltaan ja suorituskyvyltään keskitasoa. Tämä koettiin sopivaksi valinnaksi tarkoitukseemme sen riittävän suorituskyvyn ja alhaisen hinnan takia. Paneelille luotiin prosessiin tarvittavat screenit eli näytöt.

## Moottorien ohjaus

SINAMICS Startdrive mahdollistaa SINAMICS-tuoteperheen taajuusmuuttajien ja moottorienohjauslaitteiden integroimisen automaatioympäristöön. Sen avulla konfiguroitiin projektiimme S210-sarjan taajuusmuuttajat, jotka ohjaavat varastorobotin FK-sarjan moottoreita. Se tapahtuu siten, että komponenttilistasta valitaan haluttu taajuusmuuttaja, lisätään kokoonpanoon ja parametroidaan se. Sen jälkeen valitaan moottori ja akseli, jota kyseinen taajuusmuuttaja ohjaa. Kun kyseiset vaiheet ovat tehty, voidaan TIA Portalin kautta käyttöönottaa moottorit ja pyöritellä niitä halutulla nopeudella. Taajuusmuuttajilla säädettiin varastorobotin moottorien vääntömomenttia ja kierrosnopeutta. Lisäomi-



naisuutena taajuusmuuttajissa oli Safety Extended -lisenssit, joiden avulla saatiin käyttöön laajennetut turvatoiminnot. Tällä ominaisuudella voi esimerkiksi valita kuinka nopeasti laite pysähtyy vikatilanteessa.

## Liikeohjaus

TIA Portalin liikeohjaus (Motion Control) toteutettiin kinematiikalla. Kinematiikka tarkoittaa liikeoppia, joka tutkii liikettä kiinnittämättä huomiota sen liikkeisiin vaikuttaviin voimiin. Robotiikassa kinematiikalla tarkoitetaan käyttäjän ohjelmoitavia mekaanisia järjestelmiä, joissa on useita työpisteen liikkeen tuottavia mekaanisesti kytkettyjä akseleita. TIA Portalissa määritettiin kinemaattinen kokonaisuus, jonka akseleille luotiin teknologiaobjektit.

## 5.5 Ohjelmointi

Varastorobotti on ohjelmoitu TIA-Portalissa hyödyntäen SCL:ää (Structured Control Language) ja FBD:tä (Function Block Diagram). SCL-kieltä on käytetty monimutkaisempien asioiden ohjelmoimiseen, kuten hyllypaikkojen määrittämiseen ja sekvensseihin, joissa on joutunut ottamaan huomioon kinemaattiset liikeradat. Sekvenssejä luodessa tuli ottaa huomioon, että nostimen haarukka eli Y-akseli ei voi liikkua yhtenäisesti muiden akselien kanssa, koska muuten laite todennäköisesti rikkoisi hyllyn. Tästä syystä esimerkiksi laatikon haku ja vienti on luotu kahdeksan sekvenssin avulla seuraavasti: Yksi sekvenssi tarvitsee toimiakseen yhden muuttujan, joka sisältää koordinaattipisteet esimerkiksi (200.0, 100.0, 0, 0). Edellä mainituilla koordinaateilla laite siirtyisi 200 mm x-akselilla ja 100 mm z-akselilla.

Kinematiikkaliikkeiden etuna verrattuna lineaariliikkeisiin tässä työssä on se, että laitteesta tulee huomattavasti nopeampi automaattitilassa, koska laite pystyy liikuttamaan X- ja Z-akseleita samanaikaisesti. Jotta laitteen kinematiikka olisi mahdollista, tulee tälle kertoa halutut koordinaattipisteet (X, Y, Z, W) LReal-muuttujaan, jonka jälkeen sen voi syöttää kinematiikkalohkoon. Kinematiikkalohkot löytyvät TIA-Portalin omasta kirjastosta. Toimiakseen kinematiikkalohko vaatii vähintään kinematiikkaryhmän, laukaisijan ja paikkakoordinaattimuuttujan. Lohkoon voi myös lisätä muita säätämiseen liittyviä tekiä, kuten nopeus-, kiihtyvyys-, hidastus- ja vääntötiedot. Lisäksi lohkoissa on valmiita hienosäätöparametreja, joilla voi säätää laitteen liikkeitä.

FBD:tä käytettiin yksinkertaisten asioiden ohjelmoimiseen ja valmiiden lohkojen yhdistämiseen, kuten moottorien ohjaukseen ja turvalogiikoihin. FBD on yksinkertainen tapa ohjelmoida, jossa yhdistyy helppous ja selkeys. Tässä ohjelmointikielessä joko tehdään omat lohkot tai valitaan ne valmiina kirjastoista. Tämän jälkeen lohkoihin liitetään halutut ja vaaditut muuttujat.

Liikesarjat toteutettiin sekvensseillä, jotka näkyvät taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Laatikon haku

Sekvenssi 1	Robotti menee ensimmäisen halutun hyllypaikan eteen. Akselit X ja Z liikkuvat.
Sekvenssi 2	Haarukka liikkuu laatikon alle. Y-akseli liikkuu.
Sekvenssi 3	Laatikkoa nostetaan halutun arvon verran. Z-akseli liikkuu.
Sekvenssi 4	Laatikko nostetaan hyllystä ulos. Y-akseli liikkuu.
Sekvenssi 5	Robotti vie laatikon valittuun paikkaan. Sekvenssissä otetaan huomioon laatikon jalkojen pituus Z koordinaatissa. Akselit X ja Z liikkuvat.
Sekvenssi 6	Haarukka vie laatikon haluttuun paikkaan. Y-akseli liikkuu.
Sekvenssi 7	Laatikkoa lasketaan paikalleen. Z-akseli liikkuu.
Sekvenssi 8	Haarukka palaa kotiasentoonsa. X- ja Z-akseli pysyy samassa paikassa, Y-akseli liikkuu.

Taulukko 2. Kotiasento

Sekvenssi 1	Y-akseli palautetaan ensimmäisenä kotiasentoon, jotta vältetään mahdolliset vahingot.
Sekvenssi 2	Kun Y-akseli on kotiasennossa, X- ja Z-akselit palaavat kotiasentoihin.

## 5.6 TIA Selection Tool

TIA Selection Tool on ohjelmisto, joka tarjoaa mahdollisuuden suunnitella Siemensin komponenteista koostettuja järjestelmiä. Sen avulla voidaan myös laskea järjestelmän 24 V:n tasajännitekuorma, jonka jälkeen ohjelma tarjoaa sopivan virtalähteen. Tarvittavat komponentit lisättiin osaryhmään, joista Selection Tool teki automaattisesti ostoslistan. Tämän ostoslistan voi halutessaan viedä suoraan Siemensin tuotekatalogiin Industry Malliin, josta osat on mahdollista laittaa tilaukseen. Projektin osat tilattiin kuitenkin Siemensin omien järjestelmien kautta, eikä tätä toimintoa hyödynnetty.

Suurin hyöty TIA Selection Toolin käytössä oli se, että kun valitsi jonkun osan, esimerkiksi ET200SP-moduulin ja laittoi sen osaryhmään, lisäsi se samalla ostoslistaan kaikki tarvittavat komponentit, joita kyseinen moduuli tarvitsee toimiakseen oikein. Tätä hyödyntämällä säästyi aikaa, koska ei tarvinnut itse etsiä tarvittavia lisäosia eikä mitään voinut unohtua lisätä. Samalla pystyttiin konfiguroimaan kaikki laitteiden välille tarvittavat kaapeloinnit ja viedä nekin ostoslistaan.

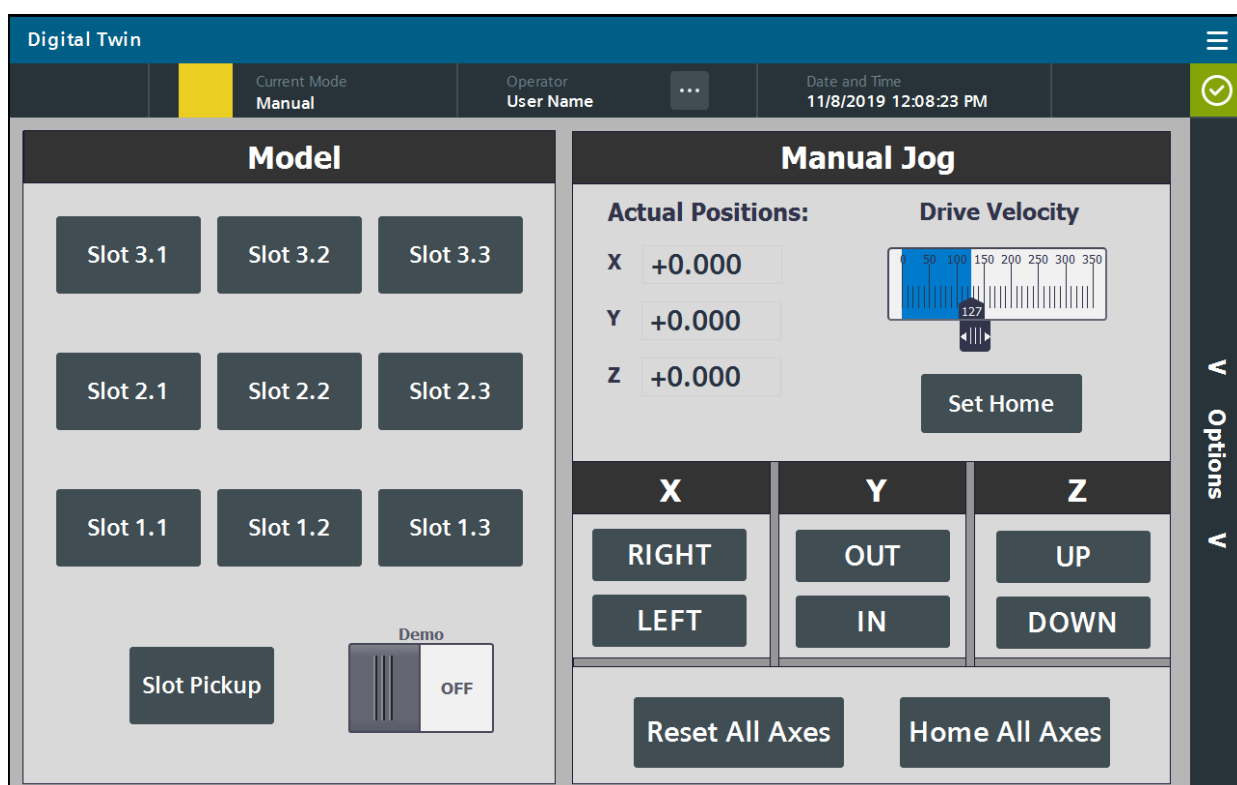
## 6 Käyttöliittymä

### Näytöt

Varastorobotin ohjaaminen vaati monenlaisia eri käyttöliittymiä, jotka luotiin alusta loppuun itse. Niistä pyrittiin tehdä mahdollisimman käyttäjäystävällisiä ja helposti opittavia, koska omien kokemusten perusteella se on olennaisin osa käyttöliittymän suunnittelussa. Näytöllä näkyvien sivujen eli screenien luonnissa käytettiin Siemensin tarjoamaa HMI Template Suitea, jonka avulla näyttöihin saatiin kuvassa 12 näkyvät yläpalkit ja navigointipaneelit. Loput komponentit näytöille tehtiin itse käyttämällä TIA Portalista löytyviä valmiita työkaluja esim. Buttonia ja IO-Fieldiä. Niitä muokattiin visuaalisesti helppoluokiseksi kokoja, värejä ja muotoja muuttamalla. Jokaiselle napille annettiin jokin tarvittava toiminto, joista yleisimmät olivat SetBit ja ResetBit. Niiden avulla saatiin eri muuttujia päälle ja pois nappien painalluksella. Muuttujia on kahdenlaisia, HMI-tageja ja PLC-tageja. Näyttöjen komponentteihin, kuten nappeihin, liitetään jokin HMI-tag, ja jotta niillä voidaan ohjata PLC:tä, täytyy ne liittää PLC-tageihin erillisessä tagitaulukossa.

## Manual Control

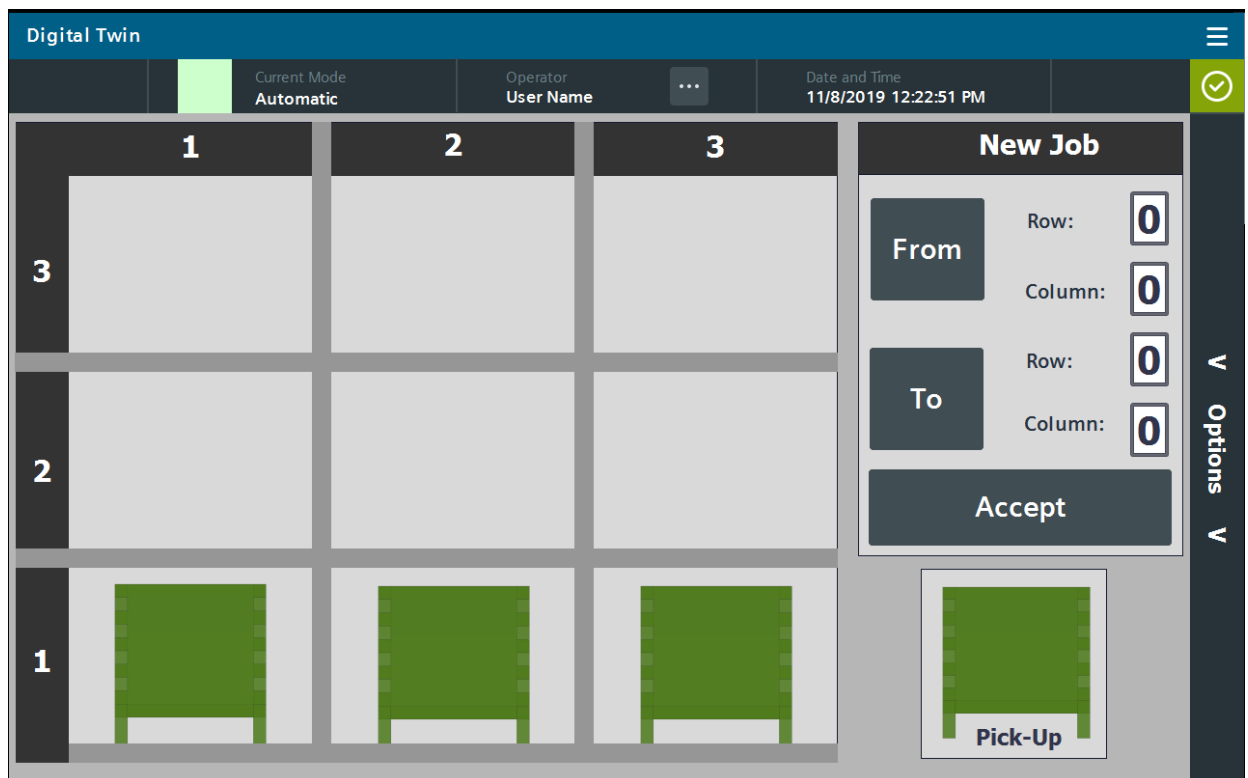
Manual Control -välilehdeltä säädetään varastorobotin paikoitus, joka on olennainen osa sen toimintaa. Paikoitus eli "Homing" tarkoittaa akselien nollapisteiden määrittämistä, eli ne ajetaan haluttuun kotiasentoon ja painetaan Set Home -nappia. Tämän jälkeen laitteisto muistaa aina paikoituksensa, vaikka sähkötkatkeaisivat. Samalta sivulta voidaan määrittää, kuinka kovalla vauhdilla laitetta halutaan ajaa. Määritetty nopeus pätee niin manuaali- kuin automaattiajoon. Tärkein asia tältä sivulta on kuitenkin Manual Jog eli laitteiston käsin ohjaaminen. Kuvassa 12 näkyy Manual Control -välilehti, jossa tapahtuu varastorobotin manuaaliohjaus.



Kuva 12. Manual Control.

## Warehouse

Warehouse-välilehdellä suoritetaan laitteiston ns. automaattiajo. Tältä sivulta voidaan siirrellä hyllyssä olevia laatikoita paikasta toiseen. Kun valittu laatikko halutaan siirtää paikasta a paikkaan b, tulee ensin painaa nappia "From", jonka jälkeen valitaan siirrettävä laatikko. Tämän jälkeen painetaan nappia "To", jonka jälkeen valitaan, mihin laatikko siirretään. Kun valinnat on tehty, painetaan nappia "Accept", jolloin laite tekee halutun toimenpiteen. Kuvassa 13 on varastotilanne.



Kuva 13. Warehouse.

## Diagnostic ja Messages

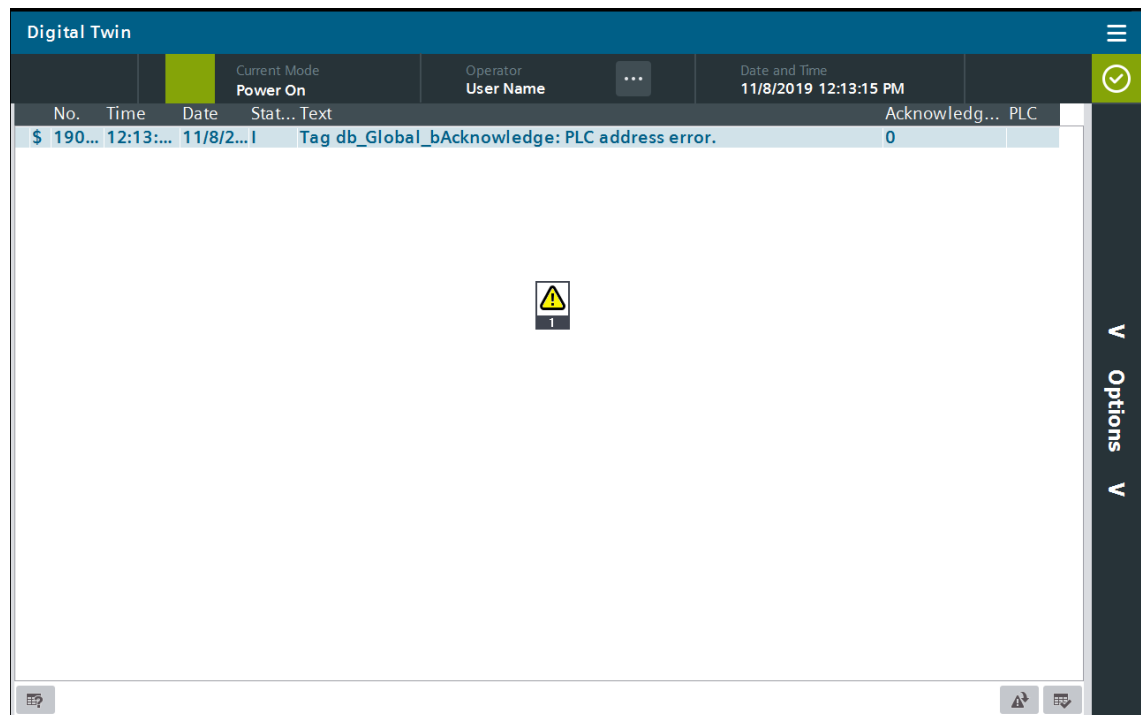
Diagnostic- ja Messages-välilehtien tehtävä on kertoa koko varastorobotin tilanne. Diagnostic-välilehdellä näkee koko laitteiston komponenttien tilanteen, jolloin voidaan varmistaa, että kaikki toimii oikein. Esimerkiksi, jos input-kortti hajoaisi, se näkyisi diagnostic-välilehdellä punaisella. Kuvassa 14 näkyy, että kaikkien laitteiston komponenttien tilanne on kunnossa.

Status	Name	Operatin...	Slot	Type	Order number	Address	Plant designati...	Location identi...
✓	Plant							
✓	S71500/ET200MP station...			S71500/ET...		32*		

Kuva 14. Diagnostics.



Messages-välilehti puolestaan kertoo hieman kattavammin laitteiston vikatilanteet. Jokaikaisesta laitteiston virheestä tulee vikakoodi kyseiselle sivulle. Esimerkkinä akselien törmäystilanne. Akselin törmätessä laite menee "Error"-tilaan, josta tuodaan vikakoodi Messages-välilehdelle. Jos vika ei aiheuttanut vauriota laitteelle, sillä voidaan taas ajaa, kun vika kuitataan kuittauspainikkeesta. Kuvassa 15 on yksi hälytys päällä Messages-välilehdellä.



Kuva 15. Messages.

## Box Positions

Hyllypaikkojen paikoituksen määrittämiseen luotiin oma välilehti. Sen avulla annetaan jokaiselle hyllypaikalle koordinaatit, joiden mukaan varastorobotti hakee laatikon. Lisäksi sieltä voidaan säätää varastorobotin nostohaarukan nostokorkeutta ja sitä, kuinka pitkälle Y-akseli työntää nostohaarukkaa.

Hyllypaikat määritellään helpoiten siten, että ajetaan aluksi manuaalisesti ensimmäisen hyllypaikan eteen keskelle. Tällöin ensimmäisen hyllypaikat koordinaatit näkyvät Manual Control -välilehdellä. Tämän jälkeen voidaan laskea matemaattisesti muiden hyllypaikkojen koordinaatit, koska hyllypaikkojen etäisyydet ovat tiedossa. Kuvassa 16 näkyy valmiiksi asetetut hyllypaikkojen sijainnit koordinaatistossa.

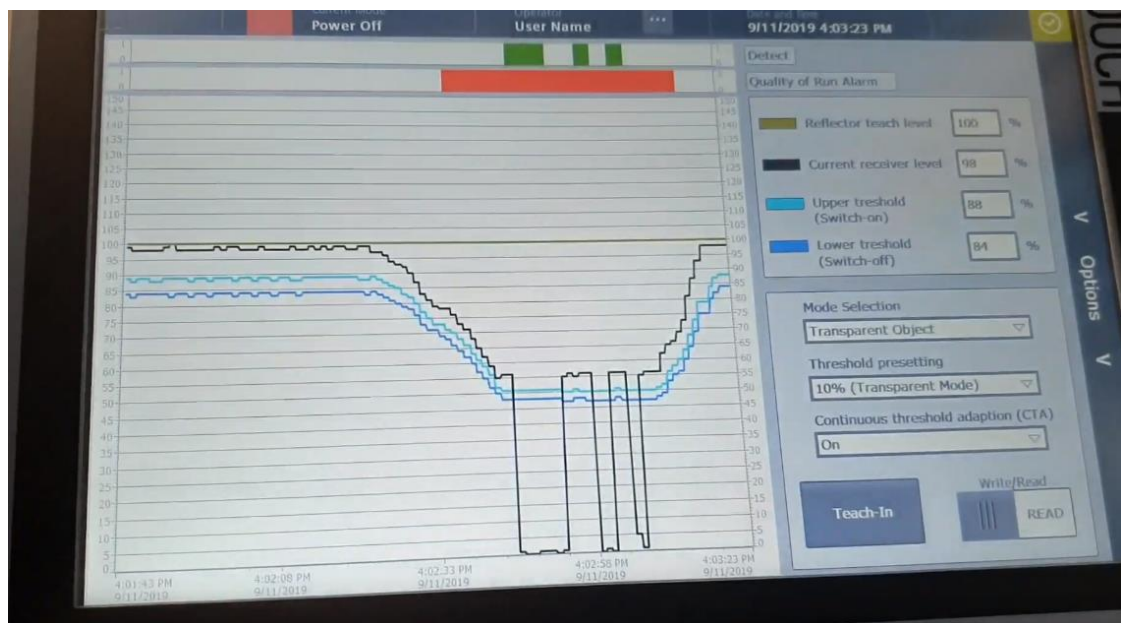
Digital Twin				
	Current Mode Setup	Operator User Name	Date and Time 11/8/2019 12:09:32 PM	
	1	2	3	Z
3	X +670.000 Z +370.000	X +495.000 Z +370.000	X +330.000 Z +370.000	✓ +0.000
2	X +670.000 Z +205.000	X +495.000 Z +205.000	X +330.000 Z +205.000	✓ +0.000
1	X +670.000 Z +40.000	X +495.000 Z +40.000	X +330.000 Z +40.000	✓ +0.000
X	✓ +0.000	✓ +0.000	✓ +0.000	Reset
Pick-up Position		Z - Lift off height		Y - Out Position
X +171.000	✓ +0.00	Current +20.000	Current +170.000	
Z +0.000	✓ +0.00	✓ +0.00	✓ +0.000	

Kuva 16. Box Positions.

## Sensor Management

Älykkäiden IO-Link -antureiden avulla pystyttiin tuomaan esille enemmän dataa kuin pelkän kappaleentunnistuksen avulla. Tarkoituksena oli tehdä välilehti, josta pystyy seuraamaan anturien toimintaa niiden likaantuessa. Kuten kuvasta 17 voi nähdä, anturi pystyy tunnistamaan kappaleen, vaikka anturin linssi olisi hyvin likainen. Likaantuessa anturit antavat vikakoodin, joka korjaantuu, kun sen linssi puhdistetaan.

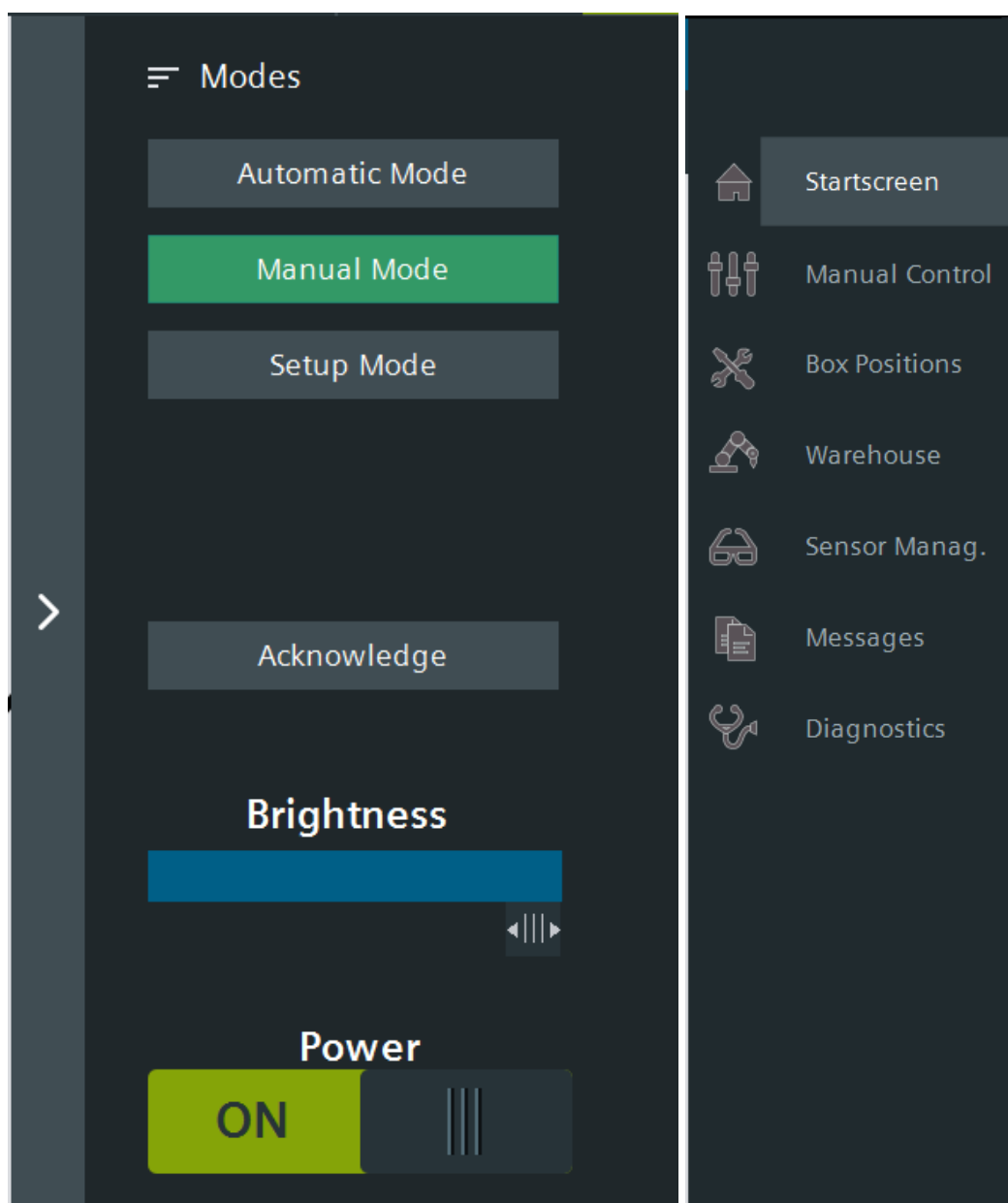
Sensor Management välilehdellä pystyy myös säätämään antureiden ominaisuuksia. Esimerkiksi anturi voidaan asettaa asetukselle, jossa se osaa tunnistaa läpinäkyviä kappaleita. Säättöihin kuuluu myös tunnistustarkkuus, jolla haluttu asetus toteutetaan. Tämä ehkäisee mahdolliset virhetilanteet.



Kuva 17. Sensor Management.

## Options- ja Screens-valikot

Options-valikosta määritellään varastorobotin tila ja näytön kirkkaus. Valikosta löytyy myös laitteen digitaalinen virtanappi ja viankuittausnappi. Screens-valikosta voidaan valita haluttu sivu, jolle halutaan mennä. Kuvassa 18 näkyy Options- ja Screens-valikot.



Kuva 18. Options ja Screens.

## 7 Työn kulku

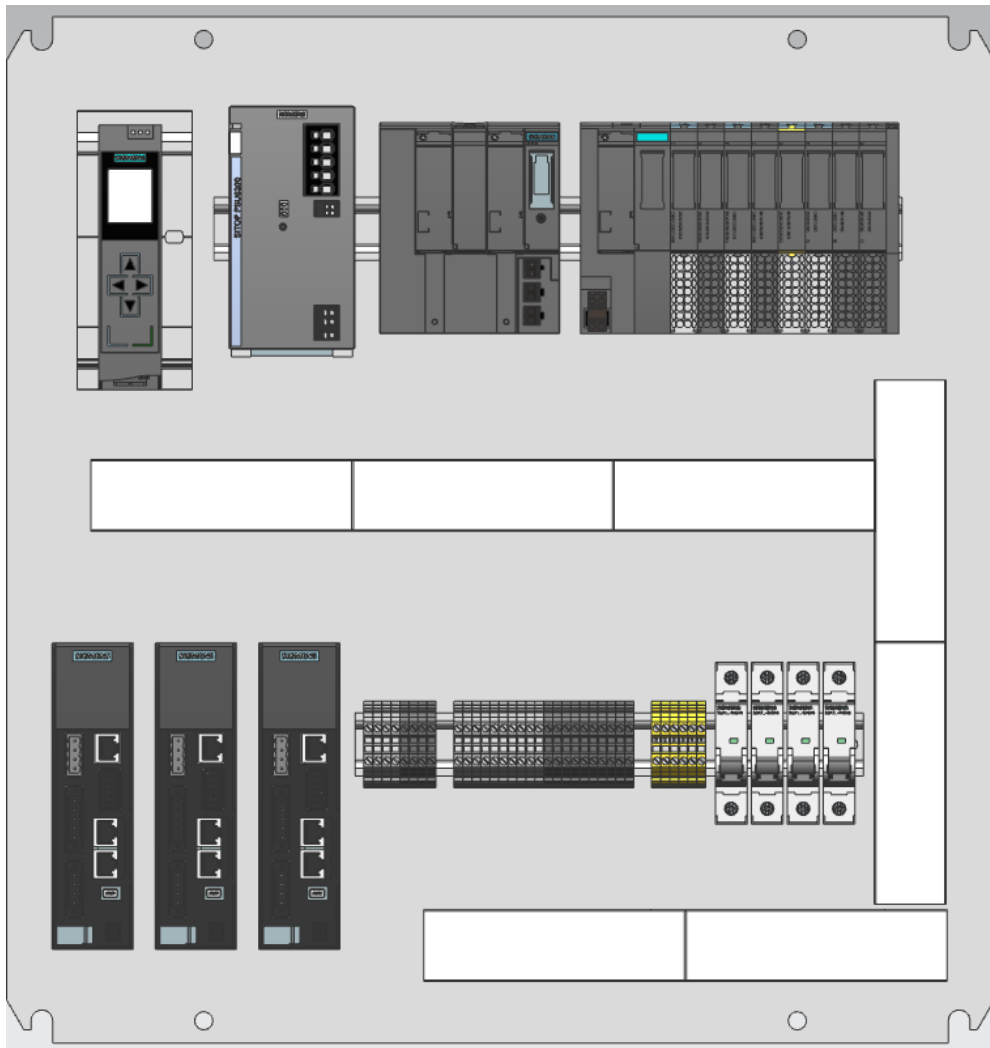
### 7.1 Osien valinta

Lähtötieto tarvittavista osista oli alhainen, joten suuri osa käytettävästä ajasta meni osien tutkimiseen ja valitsemiseen. Tarkoituksena oli luoda kustannustehokas kokonaisuus, joten projektiin piti löytää järkevän hintaiset komponentit. Logiikkaosien yhteensopivuus oli helppo tarkistaa TIA Portalin avulla ja niiden tilaaminen sujui helposti Siemensin oman tilausjärjestelmän kautta. Lineaariyksiköt olivat projektin kalleimmat komponentit ja samalla haastavimmat löytää sopivan hintaiset. Kyseiset osat tulevat lähes aina mittatilaustyönä eivätkä suoraan hyllystä, joten hintaero eri valmistajien välillä oli hyvin suuri. Tämän takia jouduimme lähettämään tarjouspyyntöjä useisiin kolmannen osapuolen yrityksiin, jotta voisimme kilpailuttaa hintoja. Ratkaisu saatiin SMC:ltä, vaikka lineaariyksiköiden pitkän toimitusajan takia opinnäytetyön aikataulu vähän viivästyi. Kilpailutusta tehtiin myös hyllystä ja laatikosta eri muovityöstön yrityksiin, mutta ne päädyttiinkin tekemään itse.

### 7.2 Varastorobotin suunnittelu

Tarvittava varastorobotin suunnittelu toteutettiin lähes kokonaan NX-ohjelmiston sisällä. Sen avulla eri komponenttien mitoitus oli helppoa, koska niitä pystyi vertailemaan keskenään. Tästä hyvä esimerkki on hylly, joka mitoitettiin lineaariyksiköiden mukaan sopivan kokoiseksi. Projektin mekaaninen suunnittelu tapahtui lataamalla 3D CAD -mallit lineaariyksiköistä ja kiinnikkeistä ja luomalla niistä digitaalinen kaksonen. Näin saatiin näkyville laitteen toiminta yksinkertaisesti. Todellisuudessa lineaariyksiköihin vaikuttavia voimia kuten erilaisia tärähdys- ja nytkähdysvoimia ei tarvinnut laskea, koska lineaariyksiköitä ajetaan niin hitaalla nopeudella. Kun suunnitelma todettiin hyväksi, lähetettiin siitä kuvat ja tarvittavat tiedot kuten nopeudet ja yksiköiden pituudet SMC:lle, joka sitten tarjosi meille ratkaisun lineaariyksiköille tarvittavine kiinnikkeineen ja päätyantureineen. Näin ollen päästiin varmasti toimivaan ja luotettavaan lopputulokseen.

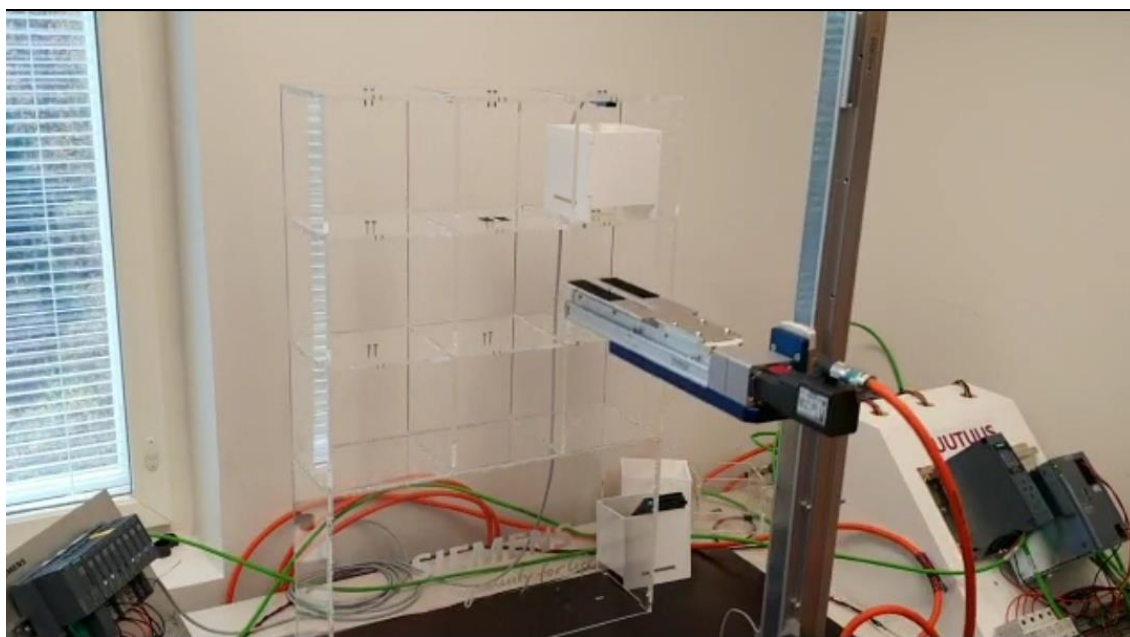
Logiikkakomponentit koottiin väliaikaiseen telineeseen, mutta myös oikean kokoinen sähkökaappi mitoitettiin. Sähkökaappi valittiin siten, että kaikista osista ladattiin 3D CAD mallit ja koottiin niistä tiivis todenmukainen kokoonpano. Tämän jälkeen ladattiin erikoisten sähkökaappien 3D-malleja ja yritettiin mahdollistaa laitekokoonpanoa niiden sisälle. Näin varmistuttiin, että osat mahtuvat kaapin sisälle ilman mitään erityisiä mittauksia. Kuvassa 19 on mallinnettu tarvittavat komponentit sähkökaapin sisälle.



Kuva 19. 3D-malli sähkökaapin sisällöstä.

### 7.3 Prototyypin kokoaminen

Tilattujen osien saavuttua oli varastorobotin kokoamisen aika. Logiikkakomponentit asennettiin ensiksi DIN-kiskoille järkevään järjestykseen. Niiden virtakaapelit johdettiin riviliittimien kautta virtalähteeltä kaikkien komponenttien liittimiin. Etenkin ET200SP:n BaseUnit-yksiköihin liitettävät virtakaapelit olivat erityisen tärkeää viedä riviliittimien kautta, koska BU-yksiköiden liitinpaikat ovat herkkiä hajoamaan jatkuvalla kaapeleiden irrottamisella ja liittämisellä. Täten myös varmistetaan komponenttien pitkä elinikä ja samalla kaapelointi pysyy siistinä ja helppona kytkeä uudelleen. Samoihin DIN-kiskoihin asetettiin myös oikein mitoitetut johdonsuojat, jotka ovat sijoitettu ennen kaikkia 230 V:n toimilaitteita. Näin vältetään komponenttien hajoamiselta mahdollisen oikosulun tapahtuessa. Kun kaikki komponentit olivat paikallaan, vedettiin ne kaikki samaan PROFINET-väylään kytkimen kautta. Väylä tarkoittaa sitä, että kaikki laitteet ovat niin sanotusti yhteydessä toisiinsa ja voivat kommunikoida toistensa kanssa. Kuvassa 20 näkyy varastorobotin prototyyppi. Oikealla sijaitsee logiikkakomponentit ja vasemmassa alakulmassa näkyy ET200SP-asema.



Kuva 20. Varastorobotin prototyyppi.

## 7.4 Tuotannon ulkoistaminen

Varastorobotista valmistettiin prototyyppi ennen sen tuotannon ulkoistamista, jotta vältetään mahdollisilta ongelmatilanteilta kasausvaiheessa. Kolmanneksi osapuoleksi valittiin Siemensin yhteistyökumppani PJCabinet, joka rakentaa valmiin laitteen valituista osista. Kokoamisen helpottamiseksi olimme luoneet valmiit piirikaaviot ja 3D-mallit kytkennöistä. PJCabinet rakensi viimeistellyn messulaitteen. Liitteessä 1 on varastorobotin piirikaaviot.

## 7.5 Valmis tuote

Varastorobotti saatiin viimeistelyä viisi minuuttia ennen teknologiamessujen alkamista. Laitteen tarkoitus on esittää nykyaikainen tapa, kuinka virtuaalinen käyttöönottoprosessi käydään läpi digitaalisen kaksosen avulla. Varastorobottia voi käyttää kuten oikeaa varastoa, joko digitaalisessa tai fyysisessä muodossa. Laitteeseen ohjelmoitiin lopuksi demo-ohjelma, joka siirtää laatikoita automaattisesti hyllypaikasta toiseen. Kuvassa 21 on varastorobotista tehty digitaalinen kaksonen isolla näytöllä ja fyysinen laite oikealla.



Kuva 21. Korkeavarasto demo, Päivi Lukka / Siemens Osakeyhtiö.



## 7.6 Messut

Varastorobotti pääsi osaksi Teknologia 19 -messuja Siemensin osastolle 5.–7.11.2019. Messut on tarkoitettu kaikille, jotka ovat kiinnostuneet teollisuuden ja teknologian uutuuksista. Laitteemme valittiin messuille, koska siinä on käytetty Siemensin uusinta teknologiaa ja haluttiin näyttää muille, mitä nykyaikaisilla työvälineillä on mahdollista tehdä.

Messuilla vastasimme virtuaalisen käyttöönoton kertomisesta asiakkaille. Aiheena virtuaalinen käyttöönotto oli Siemensin messuosastolla yksi suosituimpia, minkä takia saimme hyvän näkemyksen erilaisista automaation yrityksistä. Samalla pystyimme tuomaan omaa osaamistamme esille digitaalisen kaksosen ammattilaisina. Kuvassa 22 on Siemensin messuosasto Teknologia 19 -messuilla.



Kuva 22. Siemensin osasto Teknologia 19 -messuilla.

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin mielestämme vähintään kattavasti. Projektin alkupe-  
räinen suunnitelma oli luoda vain digitaalinen kaksonen, mutta päädyimme lopulta teke-  
mään myös fyysisen laitteen, jotta saisimme lisähaastetta. Ennen fyysisen laitteen ra-  
kennusta tehtiin budjetointi ja valittiin käytettävät komponentit.

Kokonaisuuden tarkoituksena oli luoda kattava opetuskäyttöön menevä laitteisto kou-  
luille, jolla nykyaikainen koulutus olisi mahdollista. Korkeavarastodemo on täysin modu-  
laarinen laitteisto, jonka takia se on erittäin kattava kokonaisuus. Se on suunniteltu siten,  
että siihen voidaan lisätä tarvittaessa erilaisia komponentteja tai lisävarusteita, kuten esi-  
merkiksi liukuhihnoja ja turvallisuuslaitteita.

Messujen aikana kävi ilmi, että luomamme digitaalinen kaksonen olisi vaatinut vielä hie-  
man hienosäätöä. Huomasimme, että kun demo on päällä pidempiä aikajaksoja, laatikot  
liikkuvat hieman haarukan päällä. Tämän ilmiön luo liian vähäinen kitkakerroin. Fyysi-  
seen laitteen haarukkaan oli asennettu kitkan tuomiseksi FBS Extra Smooth -teippiä.  
Jotta digitaalisesta kaksosesta olisi saanut täysin realistisen, se olisi vaatinut vielä kitka-  
kertoimien laskemisen.

Opinnäytetyön suorittamisessa päästiin tavoitteeseen ja valmistettiin digitaalisen kakso-  
sen pohjalta fyysinen laite. Korkeavarasto demojen tuli toimia kaksosina keskenään sa-  
moilla ominaisuuksilla, joka onnistui lähes täydellisesti pieniä hienosäätöjä lukuun otta-  
matta. Laitteiston lisäksi luotiin budjettilista, sähkökaaviot (Liite 1) ja demo-ohjelma.

Projekti on edennyt molempien osalta tasapuolisesti, jotta molemmat ovat saaneet riittä-  
västi kokemusta käytetyistä ohjelmistoista ja komponenteista. Työ on ollut varsin opet-  
tavainen kaikin puolin laajuudeltaan ja haastavuudeltaan.

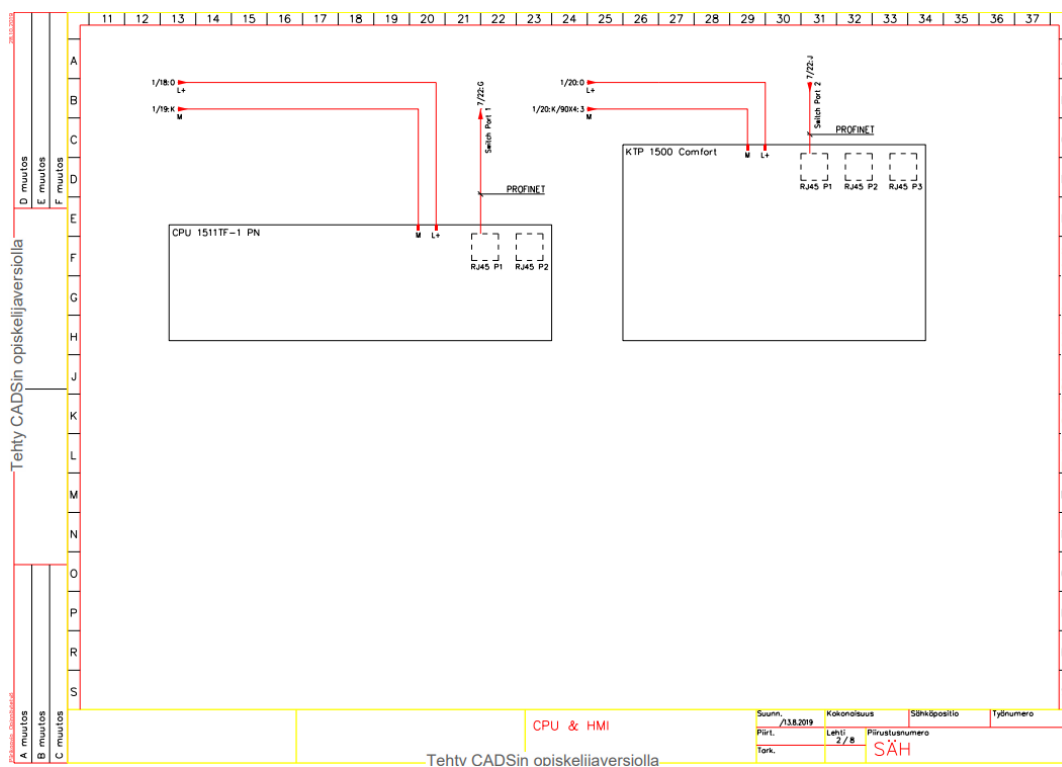
Projekti toi edetessään paljon haasteita, jotka venyttivät aikataulua. Projekti myöhästyi  
hieman suunnitelmasta lähinnä toimitusaikojen ja suunnitelmien muutosten takia. Viimei-  
simpänä deadlinea meillä oli kuitenkin 5.11.2019 alkavat Teknologia 19 -messut, jonne  
laite saatiin valmiiksi.

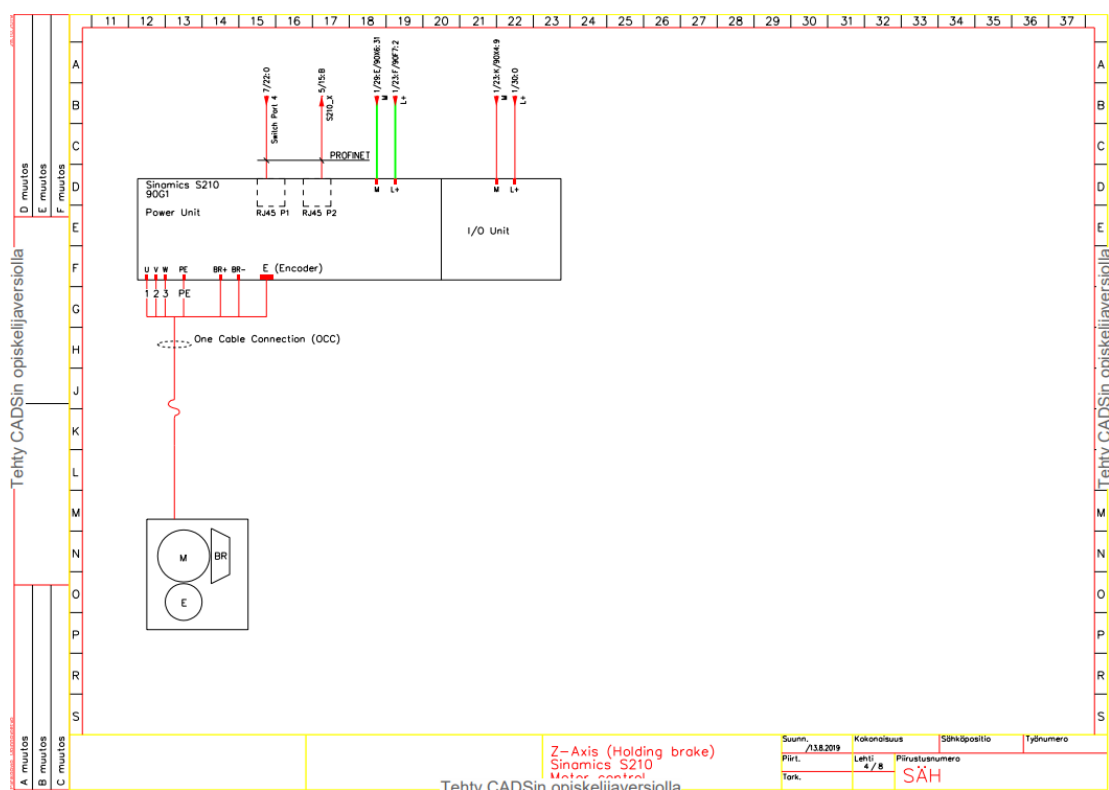
Lähtötieto aiheesta oli hyvin vähäinen, joten oppimisen kannalta projektimme oli parempi, kuin olisi voinut kuvitella. Näin kattavaa ja hyödyllistä kokonaisuutta olisi ollut todella vaikea muualta löytää. Vaikka työ tehtiin kahdestaan, se oli haastava, sillä lähes kaikki tekemämme asiat olivat täysin uusia. Molemmille riitti runsaasti tehtäviä, jotka jakautuivat loppujen lopuksi tasapuolisesti. Täten opinnäytetyön tavoite täyttyi mielestämme erittäin hyvin.

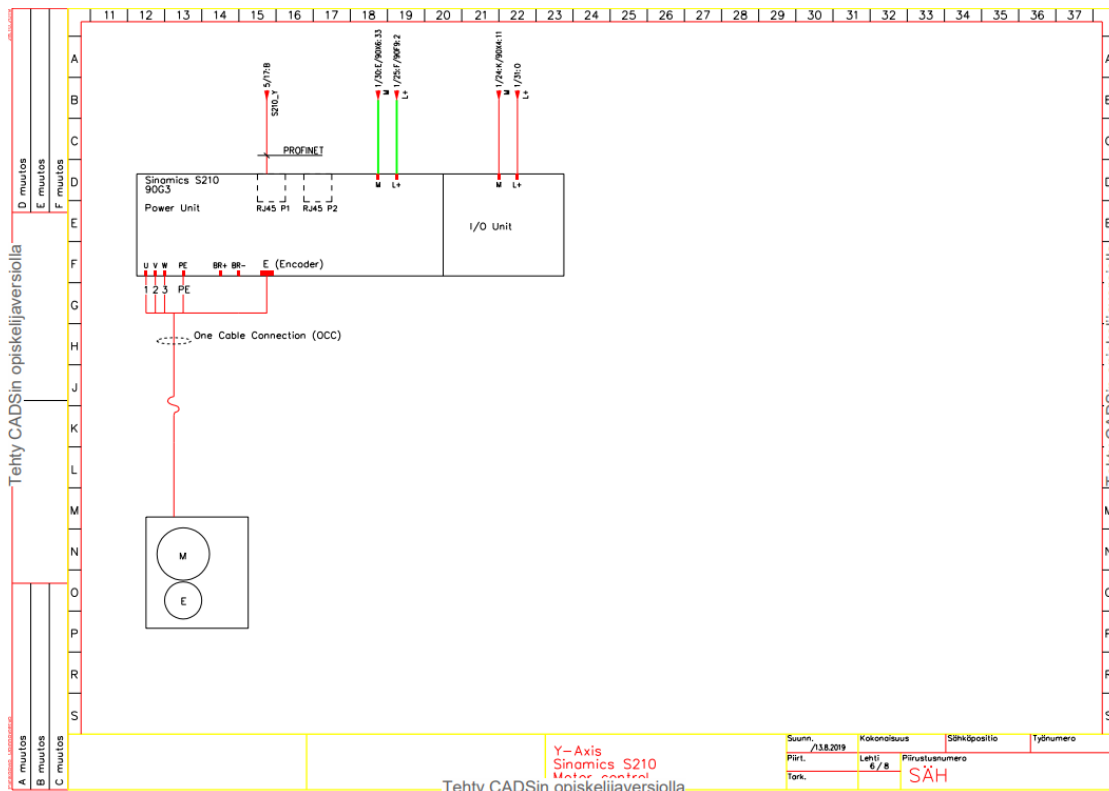
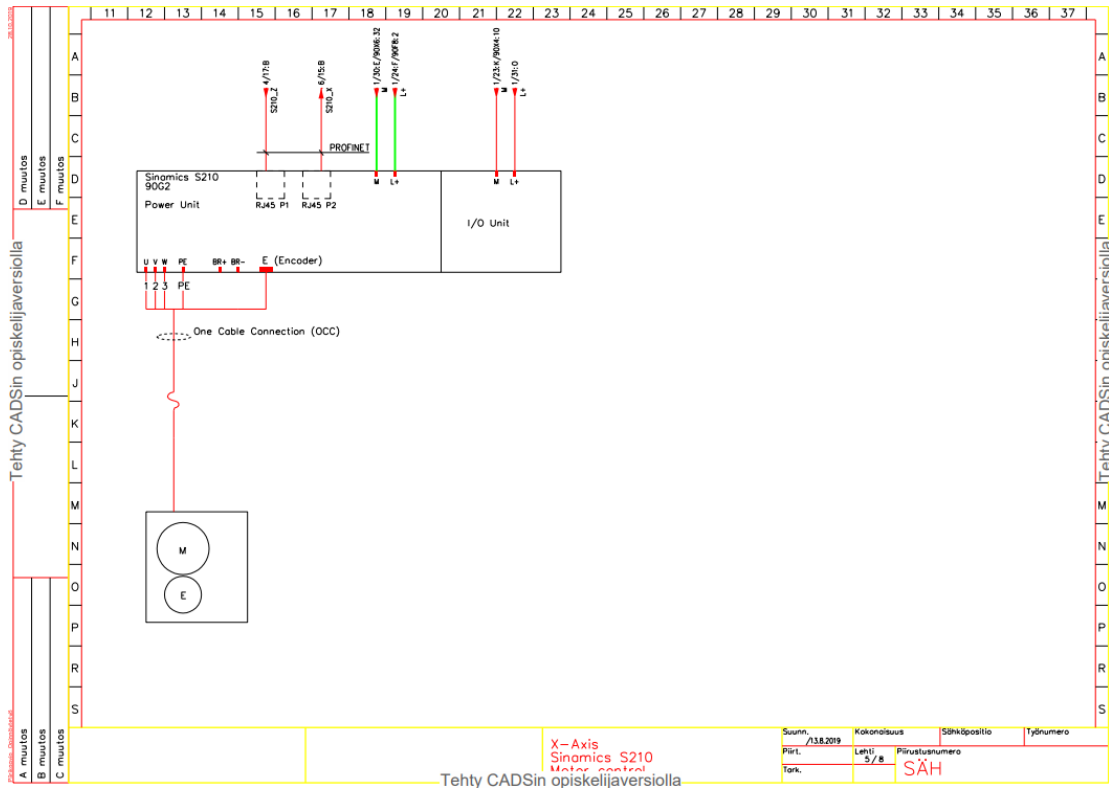
Isoimmat haasteet projektissa oli tietämättömyys käytettävistä laitteista ja ohjelmistoista. Suurin osa ajasta menikin tämän takia opiskeluun ja testaamiseen. Lisähaasteita toi kesälomat, jolloin apua ei juurikaan ollut saatavilla ja sen aikana tehdyt tilaukset. Projektin edetessä huomasimme myös, että valitsemamme anturit eivät pystyneet luotettavasti havaitsemaan laatikoita läpinäkyvän pohjan takia. Syyksi tähän paljastui liian läpinäkyvä muovi, jonka takia anturi ei pystynyt antamaan luotettavaa dataa, jos muovi on täysin puhdas. Päädyimme lopulta vaihtamaan muovin materiaalin maitolasiin.

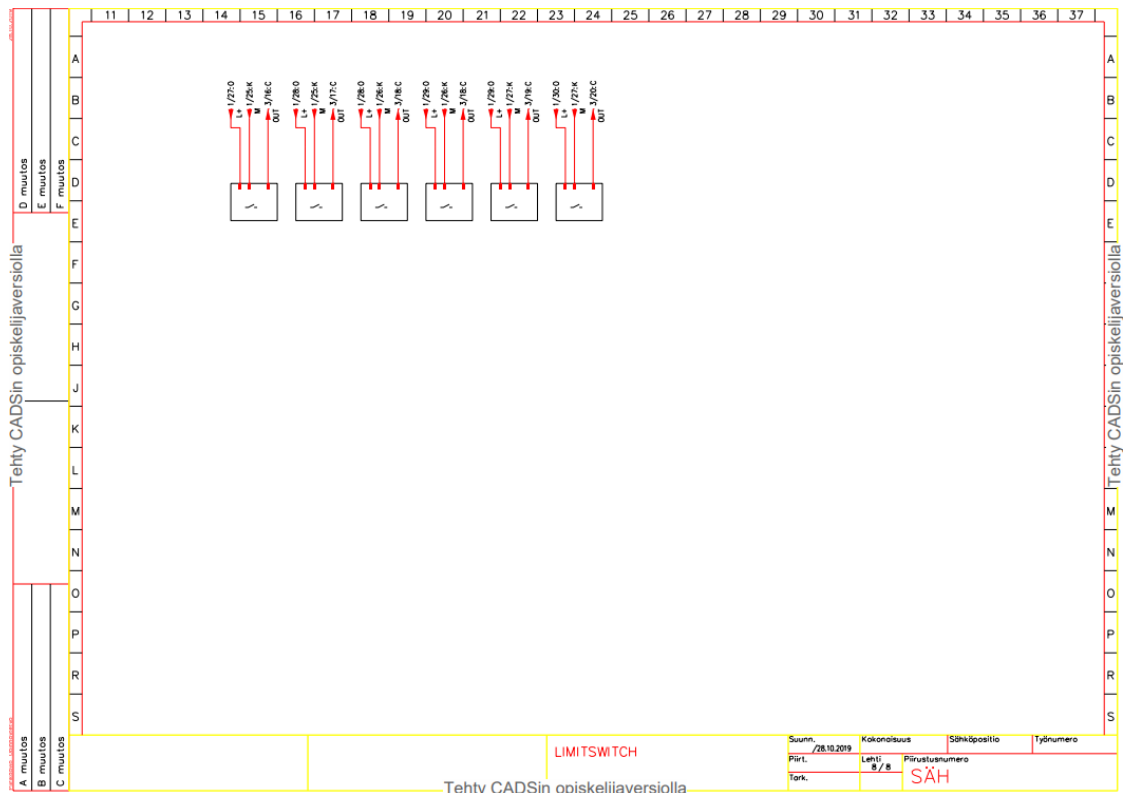
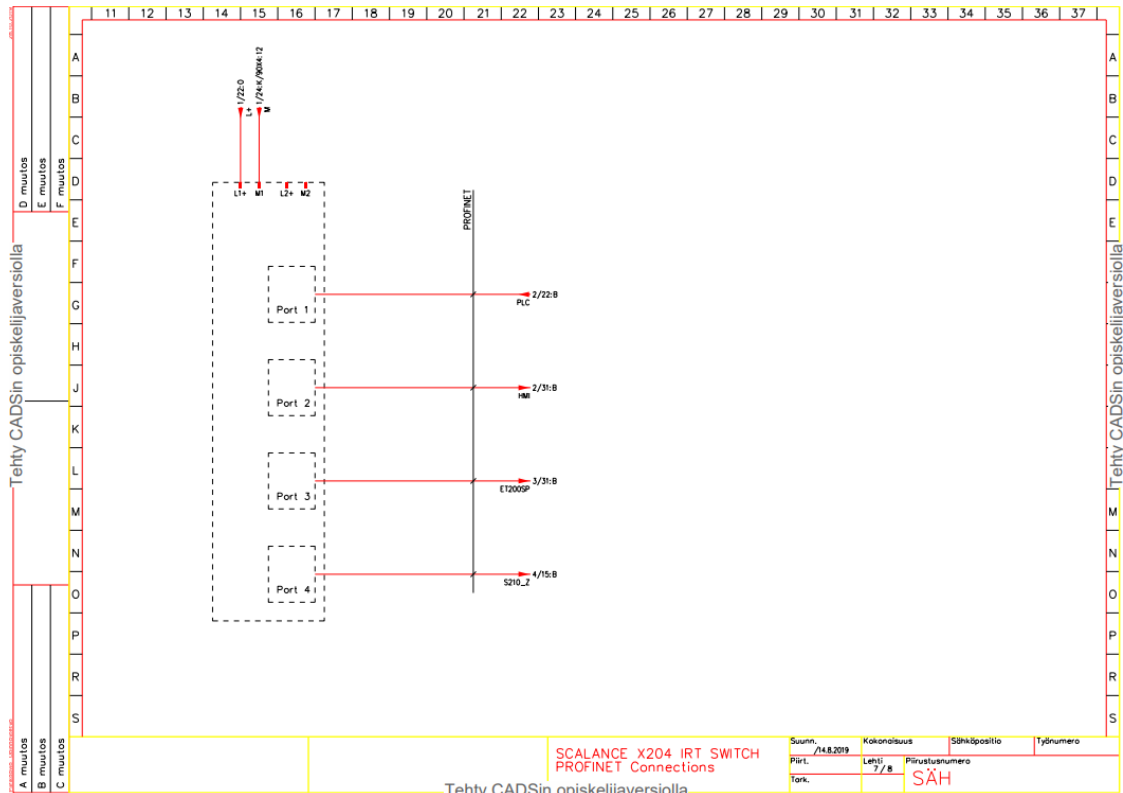
## Lähteet

- 1 Digital twin todellisuuden tulkitsijana ja liiketoiminnan vauhdittajana. 2019. Verkkoaineisto. Turku Business Region. <<https://turkubusinessregion.com/tapah-tuma/digital-twin-digitaalinen-kaksonen-todellisuuden-tulkitsijana-ja-liiketoiminnan-vauhdittajana/>>. Luettu 2.3.2020.
- 2 Siemens Suomessa ja Baltiassa. 2018. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/siemens-suomessa-ja-baltiassa.html>>. Luettu 15.7.2019.
- 3 Hannover Messe Industry 2015. PDF-tiedosto. Siemens AG. Luettu 20.5.2019.
- 4 Siemens NX. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens\\_NX](https://en.wikipedia.org/wiki/Siemens_NX)>. Luettu 16.5.2019.
- 5 Whats is the five layer automation pyramid?. 2019. Verkkoaineisto. Medium. <<https://medium.com/world-of-iot/92-what-is-the-five-layer-automation-pyramid-d0ccc1b903c3>>. Luettu 3.3.2020.
- 6 TIA Portal. Verkkoaineisto. Sitek. <<http://www.sitek.fi/tuotteetsiemens/tia-portal>>. Luettu 20.10.2019.
- 7 Industry Mall. Verkkoaineisto. Siemens. <<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/1FK2102-1AG00-0MA0>>. Luettu 3.3.2020.
- 8 Siemens Servo drive system SINAMICS S210. Verkkoaineisto. Siemens. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/800/109753800/att\\_950673/v1/S210\\_1FK2\\_op\\_instr\\_011217\\_eng.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/800/109753800/att_950673/v1/S210_1FK2_op_instr_011217_eng.pdf)>. Luettu 24.9.2019.
- 9 Siemens, S7-1500T Motion Control V3.0 in the TIA Portal V14 Function Manual. Verkkoaineisto. Siemens. <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/326/109481326/att\\_895991/v1/s71500t\\_motion\\_control\\_function\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/326/109481326/att_895991/v1/s71500t_motion_control_function_manual_en-US_en-US.pdf)>. Luettu 12.7.2019.
- 10 Siemensin sisäinen materiaali

[illegible]









## Lineaariyksiköiden datalehti

Specifications <sup>Note 2)</sup>

- Values in this specification table are the allowable values of the actuator body with the standard motor mounted.
- Do not use the actuator so that it exceeds these values.

Actuator specifications	Model		LEFS25			LEFS32			LEFS40			
	Stroke [mm] <sup>Note 1)</sup>		50 to 800			50 to 1000			150 to 1200			
	Work load [kg]		Horizontal	10	20	20	30	40	45	30	50	60
			Vertical	4	8	15	5	10	20	7	15	30
	Speed [mm/s]	Stroke range	Up to 400	1500	900	450	1500	1000	500	1500	1000	500
			401 to 500	1200	720	360	1500	1000	500	1500	1000	500
			501 to 600	900	540	270	1200	800	400	1500	1000	500
			601 to 700	700	420	210	930	620	310	1410	940	470
			701 to 800	550	330	160	750	500	250	1140	760	380
			801 to 900	—	—	—	610	410	200	930	620	310
			901 to 1000	—	—	—	510	340	170	780	520	260
			1001 to 1100	—	—	—	—	—	—	500	440	220
	1101 to 1200		—	—	—	—	—	—	500	380	190	
	Pushing return to origin speed [mm/s]		30 or less									
Positioning repeatability [mm]		±0.02										
Lost motion <sup>Note 3)</sup> [mm]		±0.01										
Ball screw specifications		Basic type	0.1 or less									
		High precision type	0.05 or less									
		Thread size [mm]	ø10			ø12			ø15			
		Lead [mm]	20	12	6	24	16	8	30	20	10	
		Shaft length [mm]	Stroke + 150			Stroke + 185			Stroke + 235			
Max. acceleration/deceleration [mm/s <sup>2</sup> ]		20000 <sup>Note 4)</sup>										
Impact/Vibration resistance [m/s <sup>2</sup> ] <sup>Note 6)</sup>		50/20										
Actuation type		Ball screw (LEFS□), Ball screw + Belt (LEFS□ <sup>h</sup> )										
Guide type		Linear guide										
Operating temperature range [°C]		5 to 40										
Operating humidity range [%RH]		90 or less (No condensation)										
Other specifications <sup>Note 5)</sup>	Actuation unit weight [kg]		0.2			0.3			0.55			
	Other inertia [kg·cm <sup>2</sup> ]		0.02 (LEFS25) 0.02 (LEFS25 <sup>h</sup> )			0.08 (LEFS32) 0.06 (LEFS32 <sup>h</sup> )			0.08 (LEFS40) 0.17 (LEFS40 <sup>h</sup> )			
	Friction coefficient		0.05									
	Mechanical efficiency		0.8									
Reference motor specifications	Motor shape		□40			□60						
	Motor type		AC servo motor (100 V/200 V)									
	Rated output capacity [W]		100			200			400			
	Rated torque [N·m]		0.32			0.64			1.3			
	Rated rotation [rpm]		3000									